Aus der Klinik für Pferdekrankheiten
und allgemeine Chirurgie
des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität
Berlin
Gesch. Direktor Prof. Dr. Horst Keller

Bestimmung des Blutvolumens an jungen Trabrennpferden mit J^{131}-HSA (RIHSA)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Beatrice Adamopoulou
Tierärztin aus Brakel

Berlin 1975

Journal Nr. 849

Aus der Klinik für Pferdekrankheiten
und allgemeine Chirurgie
des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität
Berlin
Gesch. Direktor Prof. Dr. Horst Keller

Bestimmung des Blutvolumens an jungen Trabrennpferden mit J^{131}-HSA (RIHSA)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Beatrice Adamopoulou
Tierärztin aus Brakel

Berlin 1975

Journal Nr. 849

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches
Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

Vorsitzender des FBR:	Prof. Dr. H. Loppnow
Referent:	Prof. Dr. K. Hartung
Korreferent:	Prof. Dr. G. Wittke

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tag der Promotion: 19. 12. 1975

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

I N H A L T

Seite

A. 1. Einleitung 1
2. Eigenschaften des Blutvolumens 2
3. Methoden der Blutvolumenbestimmung 3
4. Plasma- und Blutvolumenbestimmung an Haustieren. 7
5. Charakteristika und Verhalten von radioaktiven Isotopen im Organismus, insbesondere von J^{131} und Cr^{51} 8
6. Radioaktive Strahlenbelastung bei der Blutvolumenbestimmung mit J^{131}-HSA..... 11

B. Eigene Untersuchungen
1. Die Aufgabe dieser Arbeit 14
2. Material 14
3. Methodik der Blutvolumenbestimmung mit J^{131}-HSA und Cr^{51} 15
3.1Versuchsablauf mit RIHSA 15
3.2Erythrozytenmarkierung mit Cr^{51}..... 17
4. Vorversuche mit Cr^{51}..... 17
5. Untersuchung zur Abschätzung der Genauigkeit.... der Methode 18
6. Beeinflussung der Meßergebnisse durch die Ausscheidung von J^{131}-HSA in den extravasalen Raum. 22
7. Auswertung der Ergebnisse mit J^{131}-Humanserum-Albumin 23
8. Diskussion der Untersuchungen 28
9. Zusammenfassung 34

C. Ergebnistabellen 35
D. Literaturverzeichnis 53

A. 1. Einleitung

Die Bestimmung des Blutvolumes ist nicht nur in der Forschung das Thema wissenschaftlicher Arbeiten, sondern auch für den Kliniker von entscheidender Bedeutung in Bezug auf die Diagnostik und Therapie vieler Krankheiten. Die Aufrechterhaltung der Herz- und Kreislauftätigkeit ist von einem bestimmten Blutvolumen abhängig. Es ist lebenswichtig, bei hohen Blutverlusten dieses zu ergänzen, um die vitalen Funktionen zu gewährleisten. So wird beispielsweise bei der Schock- und Kollapstherapie im Zusammenhang mit Operationen und Unfällen der Verlust von Blutvolumen mit Infusionen und Plasmaexpandern ausgeglichen. Auch bei chronischen Krankheiten (z.B. Anämien, Herz- und Nierenerkrankungen) liegen Veränderungen des Blutvolumens vor, die sich in unterschiedlicher qualitativer und quantitativer Zusammensetzung des Erythrozyten- und Plasmavolumens bemerkbar machen. Da diese mit der Ermittlung des Blutstatus und der Bestimmung des Hämatokrits nicht erkannt werden können, weil sie nur einen relativen Zahlenwert liefern (11), wurden verschiedene Methoden zur Bestimmung des Blutvolumens entwickelt. Außer auf dem Gebiet der Inneren Medizin sind Blutvolumenbestimmungen im Bereich der Tierzucht sowie der Sportmedizin von Interesse.

Im Gegensatz zur Humanmedizin liegen in der Veterinärmedizin zum Thema der Blutvolumenbestimmung nur wenige Literaturangaben vor. Beispielsweise haben die Untersuchungen von OPPERMANN (28), POMMER (31), OPPERMANN, MEYER und LÖWE (27) und PERSSON (30) ergeben, daß zwischen Blutausrüstung und Leistungsfähigkeit bei Hochleistungspferden ein direkt proportionaler Zusammenhang besteht.

2. Eigenschaften des Blutvolumens

Nach BIANCA (4) wird das Blutvolumen wie folgt definiert: "Das Blutvolumen oder die Blutmenge eines Tieres umfaßt das Volumen aller flüssigen und geformten Blutbestandteile, die zu einer bestimmten Zeit in seinem Blutgefäß enthalten sind. "Daraus folgt, daß das Blutvolumen keine konstante Größe ist, sondern von verschiedenen Faktoren beeinflußt wird. Die Blutbahn stellt in ihrer Endstrombahn kein völlig dichtes Röhrensystem dar. Durch die Gefäßwand hindurch finden Diffusionsvorgänge mit der Flüssigkeit der umliegenden Gewebe statt. Nach GANONG (13) hängt die Filtrationsrate an einem bestimmten Punkt der Kapillarschlingen vom Filtrationsdruck ab. Diesem Filtrationsdruck wirkt der gefäßeinwärts gerichtete onkotische Druck entgegen. Somit tragen die Lymphe, die Gewebsflüssigkeit und der Übertritt von Wasser zu Veränderungen des Blutvolumes bei.
Das Blutvolumen setzt sich aus dem Zell- und Plasmavolumen zusammen. Die einzelnen Blutkomponenten unterliegen einem fortwährenden Wechsel von Neubildung und Abbau, so daß die Menge Blut, die zu einer bestimmten Zeit im Organismus zirkuliert, von der Geschwindigkeit dieser Vorgänge und ihrem gegenseitigen Verhältnis zueinander abhängt. Der gesunde Organismus besitzt das Bestreben, seine Blutwechselbilanz auf ausgeglichenem Niveau zu erhalten. Das setzt voraus, daß annähernd konstante Umweltverhältnisse herrschen; jegliche Abweichung davon zieht eine Veränderung des Blutvolumens nach sich. SJÖSTRAND (36) stellte fest, daß das Blutvolumen eine vom Körpergewicht, von der Körperoberfläche und von endogenen und exogenen Faktoren beeinflußbare Größe ist. Demnach stellt das Blutvolumen eine Funktion der Rasse, der Körpergröße, des Alters,Klimas und insbesondere der physischen Aktivität dar. STEINHARDT M. et. al. (37) zitieren die Meinung von GAUER et. al. (14), wonach das Blutvolumen von der Größe des totalen Gefäßbettes bestimmt und dessen potentielle Kapazität von seiner elastischen Eigenschaft und dem Tonus der glatten Muskulatur abhängt. Für GAUER (14) ist die Blutvolumenkontrol-

le nicht eine homoiostatische Kontrolle des Volumens, sondern die kontinuierliche Adaptation des Plasamvolumes an die sich ständig ändernde Größe des Herzes und des Gefäßbettes.
Nach den Untersuchungen von SJÖSTRAND (36) und VENRATH und Mitarbeitern (40) muß man zwischen dem Ruheblutvolumen und dem Gesamtblutvolumen unterscheiden. ZELLER (46) bezeichnet das Ruheblutvolumen als das "Aktive Blutvolumen".

In Ruhe oder unter normalen Umständen zirkuliert nicht die gesamte Blutmenge in den verschiedenen Organen oder in dessen Teilen, sei es durch stark verlangsamte Strömung oder durch weitgehenden Abschluß von der Zirkulation. Bei erhöhten Anstrengungen, Blutverlust, Muskelarbeit und bei psychischer Erregung wird reflektorisch "Reserveblut" in die Zirkulation entleert. Aus der Milz können bis zu 10 % und aus der Leber bis zu 20 % des gesamten Blutvolumens ausgeschüttet werden (4). Nach PERSSON (29) sind in der Milz etwa ein Drittel der roten Blutkörperchen deponiert. KRZYWANEK F. (23) untersuchte mit Hilfe der CO - Bindung des Blutes an ruhenden und arbeitenden Pferden das Blutvolumen und stellte dabei fest, daß sich schon nach leichter Arbeit die Erythrozytenzahl im Blut erhöht. Ein Jahr davor lieferte der englische Wissenschaftler BARCROFT (2) den Beweis am Hund, daß die Milz eine Blutspeicherfunktion besitzt und das Blut bei erhöhter Anstrengung in den Kreislauf abgegeben wird. Auch WOLLHEIM (44), KRZYWANEK und BERGE (24), SCHEUNERT (34), v. HERRATH (20) und STEGER (38) kommen zu dem Ergebnis, daß die Milz und die Leber bei Pferden, Hunden, Katzen, Kaninchen und Meerschweinchen als Hauptblutspeicher anzusehen sind.

3. Methoden der Blutvolumenbestimmung

Man kann zwischen direkten und indirekten Methoden der Blutvolumenbestimmung unterscheiden. Das direkte Verfahren besteht darin, daß das Tier entblutet wird und nachfolgend mit einer geeigneten Flüssigkeit des Gefäßsystem durch-

spült wird. Diese Methode kann jedoch nur in der experimentellen Medizin angewandt werden.
Zur indirekten Blutvolumenbestimmung gehören die Farbstoff- und Kohlenmonoxydmethode sowie die Verwendung von radioaktiven Substanzen. Die dafür geeigneten Testsubstanzen werden an Erythrozyten gebunden oder im Plasma oder Serum verteilt. Mit Hilfe des Verdünnungsprinzips kann nun das Blutvolumen berechnet werden.
ARNOLD et. al. (1) erwähnen das 1882 von GREHANT und QUINQUAUD entwickelte Verfahren, welches auf die Kohlenmonoxydmethode, die älteste Methode zur Blutvolumenbestimmung in vivo, zurückgeht. Eine Versuchsperson atmet in einem geschlossenen System eine bestimmte Menge Kohlenmonoxyd ein. Ist das Gleichgewicht eingetreten, so kann die in das Blut aufgenommene Menge Kohlenmonoxyd und die Kohlenmonoxyd - Hämoglobinkonzentration des Blutes anhand der Kohlenmonoxidkonzentration im System ermittelt werden.
Schon KEITH, GERAGHTY und ROWNTREE (22) und später GIBSON und EVANS (15) haben das Plasmavolumen mit Vitalrot bestimmt, welches dann von SEYDERHELM und LAMPE (35) gegen Trypanrot ausgetauscht wird. Nachdem die Technik der Kolorimetrie und Photometrie erheblich verbessert wurde, setzte sich der blaue Farbstoff T - 1824 (Evans blue) vermehrt durch. Eine in die Blutbahn injizierte bekannte Menge T - 1824 verteilt sich im gesamten Blutplasma. Ein oder mehrere Blutproben werden nach einer Durchmischungszeit von ca. 3 - 20 Minuten entnommen. Danach wird das ungerinnbar gemachte Plasma von den Erytrozyten durch Zentrifugieren getrennt und mit einer Lösung von T - 1824 bekannter Konzentration (Standard) photometrisch verglichen. Daraus läßt sich das Plasmavolumen, und mit Hilfe des Hämatoktitwertes das Gesamtblutvolumen errechnen. Die Werte liegen etwa 10 % höher als bei der Kohlenmonoxydmethode.
ZELLER und SIEWERT (46) erwähnen in ihrer Arbeit die Benutzung radioaktiven Phosphors (P^{32}), welches seit 1940 von HAHN und HEVESY (18) zur Bestimmung des Erythrozyten- bzw. Blutvolumens benutzt wird. Mit radioaktiven Isotopen

markiert man sowohl die roten Blutkörperchen (P^{32}, Cr^{51}, Fe^{59}, K^{42}), als auch das Plasmaeiweiß (J^{131}) oder führt radioaktive Eiweißkörper zu (J^{131} - Humanserum -Albumin, 9, 19, 41).

Das Prinzip der Blutvolumenbestimmung mit radioaktiven Stoffen beruht auf der Verdünnungsanalyse. Dabei wird eine genau definierte Menge der Testdosis zu einer unbekannten Menge Flüssigkeit hinzugegeben. Nach einer gründlichen Durchmischung von 3 - 5 Minuten kann man aus der entnommenen Probe die neue Konzentration der Testdosis und damit das Verdünnungsverhältnis ermitteln. Es kann nur solche Testsubstanz zur Blutvolumenbestimmung verwendet werden, die mit dem Plasma oder den Erythrozyten eine Bindung eingeht und während der ganzen Versuchsdauer im Gefäßsystem verbleibt. Sie darf während dieser Zeit weder gespeichert werden (z.B. Schilddrüse), noch in extravasale Räume diffundieren, noch durch Niere, Lunge oder Darm ausgeschieden werden. Geschähe dieses, so würde durch den Verlust der Testsubstanz eine zu große Verdünnung entstehen und ein zu großes Blutvolumen vorgetäuscht werden.

Addiert man das Erythrozyten- und das Plasmavolumen unter Vernachlässigung der Leukozyten und Thrombozyten, erhält man das Blutvolumen. Andererseits kann auch das Plasmavolumen anhand des Zellvolumens ermittelt werden, indem man den Hämatokritwert der Blutprobe bestimmt und mit dem ermittelten Wert das Plasmavolumen ausrechnet.

ZELLER und SIEWERT (46) sehen die Vorteile der Anwendung von radioaktiven Isotopen darin, daß sie durch die schnelle und zuverlässige Erfassung der Werte oft eine größere Meßgenauigkeit ergeben als die Farbstoffmethode; außerdem ermöglicht die Verwendung geringer Substanzmengen eine schnelle Wiederholung der Versuche.

TRAUTVETTER (39) stellt die Ergebnisse vergleichender Untersuchungen zur Bestimmung des Blutvolumens von Hunden mit unterschiedlichen Methoden einander gegenüber:

1. KRIEGER und Mitarbeiter (25) ermitteln ein durchschnittliches Blutvolumen von 10,5 % des Körpergewichtes mit der T - 1824-Methode, von 9,7 % des Körpergewichtes mit der P^{32}-Methode und von 9,4 % des Körpergewichtes mit der J^{131}-HSA-Methode.

2. ROOT, ALLEN und GREGERSEN (33) berechnen das Blutvolumen über das Erythrozytenvolumen nach Injektion von CO-gesättigtem Blut bzw. nach Markierung mit P^{32}.
   Die mit CO - bestimmten Volumia lagen ca. 12 % höher als die mit P^{32} erhaltenen Ergebnisse.

3. CLARK und WOODLEY (5) verglichen die mit T - 1824 erhaltenen Ergebnisse mit denen der Tetrajod-tetrabromfluorescin-Methode (Rose Bengal) sowie mit Cr^{51} markierten Erythrozyten.Mit Rose Bengal wurden Werte von 9,19 % des Körpergewichtes ermittelt und mit Cr^{51} 7,07 % des Körpergewichtes.

Bei der Kombination der Ergebnisse der T - 1824 - Methode und der Erythrozytenmarkierung mit Cr^{51} erhielten sie einen Mittelwert von 8,1 % des Körpergewichtes.
TRAUTVETTER schließt daraus, daß die Ergebnisse der Blutvolumenbestimmung über das Plasmavolumen mit J^{131} - HSA sowie mit T - 1824 oder anderen Farbstoffen praktisch identisch sind. Bei der Bestimmung des Blutvolumens mit radioaktiv markierten Erythrozyten liegen dagegen die Werte in der Regel etwas niedriger.

4. Plasma- und Blutvolumenbestimmungen an Haustieren

Das Plasma- und Blutvolumen und seine Abhängigkeit von den Funktionen des Organismus ist von zahlreichen in- und ausländischen Autoren in wissenschaftlichen Untersuchungen erforscht worden. Von einigen wird dabei eine Beziehung des Blutvolumens zur Leistung des Tieres (4, 46) und zur Körpermasse (37) diskutiert.

In diesem Zusammenhang bestimmt BIANCA (4) das Blutvolumen von Pferden, Rindern, Ziegen und Schafen mit der T - 1824- Hämatokrit - Methode. Dabei berücksichtigt er die Speicherfunktion von Leber und Milz und injiziert den Tieren das Kreislaufmittel "Veritol" aus der Gruppe der Sympathicomimetica. Die dadurch nachgewiesene Erhöhung des Gesamtblutvolumens der großen Haustiere durch Ausschüttung der Reserven beträgt durchschnittlich 6,9 - 7,7 % des Körpergewichtes. Bemerkenswert ist es, daß das Plasmavolumen weniger davon beeinflußt wird als das Zellvolumen. Das Ansteigen des Zellvolumens kann über den Hämatokrit errechnet werden. Aus den Untersuchungen von ZELLER und SIEWERT (46) mit J^{131}- Humanserum - Albumin an 27 Pferden geht hervor, daß die relative "Aktive Blutmenge" 89 ml/kg Körpergewicht und das Gesamtblutvolumen 1o1 ml/kg Körpergewicht beträgt. Die Gesamtblutmenge wird nach der Ausschüttung des Reserveblutes aus den Blutspeichern durch 5 Minuten langes Bewegen in schnellster Gangart ermittelt.

STEINHARDT et. al. (37) untersuchten die Beziehungen zwischen Plasmavolumen, Blutvolumen, Erythrozytenvolumen und totaler Hämoglobinmenge und der Körpermasse bei Hausschweinen unter Berücksichtigung der Speicherfunktion der Milz. Zur Plasmavolumenbestimmung zogen sie die T - 1824 - Methode (Evans blue) heran. Sie stellten dabei eine lineare Beziehung zwischen Plasmavolumen, Blutvolumen und Erythrozytenvolumen und der Körpermasse fest, d.h. mit steigender Körpermasse erhöhen sich auch Plasmavolumen, Blutvolumen und Erythrozytenvolumen.

Gleichzeitig fanden sie jedoch auch, daß das relative Blutvolumen und relative Plasmavolumen bei steigender Körpermasse abnehmen. Das relative Erythrozytenvolumen bleibt bis zu einer Körpermasse von 50 - 60 kg konstant bzw. erhöht sich nur geringfügig, um sich oberhalb von 60 kg zu verringern. Diese Verkleinerung des relativen Erythrozytenvolumens wird auf die vermehrte Einlagerung von Fett zurückgeführt.
STEINHARDT et. al. kommen zu der Schlußfolgerung, daß Hausschweine mit einer Körpermasse von mehr als 50 - 60 kg ein zu kleines Plasmavolumen gegenüber anderen Tierarten haben, das bei verschiedenartiger Belastung noch erheblich verkleinert werden kann und damit die Wirksamkeit der Herz-Kreislauffunktion weitgehend einschränkt.

5. Charakteristika und Verhalten von radioaktiven Isotopen im Organismus insbesondere von J^{131} und Cr^{51}

Die chemischen Eigenschaften eines Elementes werden durch seine Protonenzahl Z (Kernladungszahl) bestimmt. Die Protonenzahl Z ist mit der Ordnungszahl im periodischen System identisch. Unterschiedliche Kernmassen M rühren von unterschiedlichen Neutronenzahlen N her; es gilt immer $M = Z + N$.
Kerne gleicher Protonenzahl aber verschiedener Neutronenzahl heißen Isotope, d.h. sie stehen am gleichen Ort im periodischen System, haben aber eine unterschiedliche Masse. Die Isotope eines Elementes verhalten sich chemisch und auch meist biologisch völlig gleich und sind mit gewöhnlichen chemischen Mitteln nicht zu trennen (43).

Jedes Element hat nun neben einer Anzahl stabiler Isotope auch instabile, d.h. radioaktive Isotope, auch Radioisotope genannt. Unter Radioaktivität, ob natürlichen Ursprungs oder künstlich erzeugt, versteht man die selbstständige Umwandlung eines Nuklids vom labilen bzw. angeregten Zustand in einen stabilen Grundzustand, in der Regel unter Emission einer Strahlung (43). Diese Eigen-

schaften der Isotopen macht man sich zunutze, indem man sie unter anderem bei der Verfolgung interessierender Verbindungen im Tierkörper als Stoffwechselindikatoren einsetzt. Man verabreicht radioaktiv markierte Substanzen (Radiopharmaka), die am Stoffwechsel des Organismus teilnehmen, ohne ihn zu beeinflussen. Wegen der sehr hohen Nachweisempfindlichkeit der Strahlenmeßgeräte reichen dabei kleinste Mengen aus, um physiologische Stoffwechselvorgänge zu verfolgen und quantitativ zu erfassen (42).

Für Blutvolumenbestimmungen können unter anderem die Radionuklide J^{131} und Cr^{51} als Indikatoren verwendet werden.
J^{131} ist ein biologisch bedeutsames Radioisotop. Die emittierten ß - Partikel haben eine Energie von E_{max} = 0,6 (0,8)MeV, die γ - Strahlen eine Energie von E = 0,36 (0,6)MeV. Die physikalische Halbwertszeit beträgt 8 Tage (42).

Ähnlich der J^{131} - Strahlung besteht ein Teil der Cr^{51} - Strahlung aus einer γ - Strahlung von 0,32 MeV. Die physikalische Halbwertszeit beträgt 27 Tage.
Bei den Blutvolumenmessungen können J^{131} bzw. Cr^{51} entweder an das Plasma - Albumin oder an die Erythrozyten gebunden werden. J^{131} wird fast ausschließlich an das Plasmaalbumin gebunden. Cr^{51} dagegen wird zu 93 % an die Erythrozyten und nur zu 7 % an das Plasmaalbumin gebunden (26). Solange die gemessenen Blutproben für das Gesamtblutvolumen repräsentativ sind, spielt die Verteilung des Tracers zwischen den Erythrozyten und dem Plasma keine Rolle. Die markierten Plasmaproteine besitzen aber den Nachteil, daß sie langsam in den extravasalen Raum diffundieren, bis ein Gleichgewicht hergestellt ist. Das belastet die Genauigkeit der Blutvolumenbestimmung mit Cr^{51} (12) ebenso wie die mit J^{131} - Albumin (10).

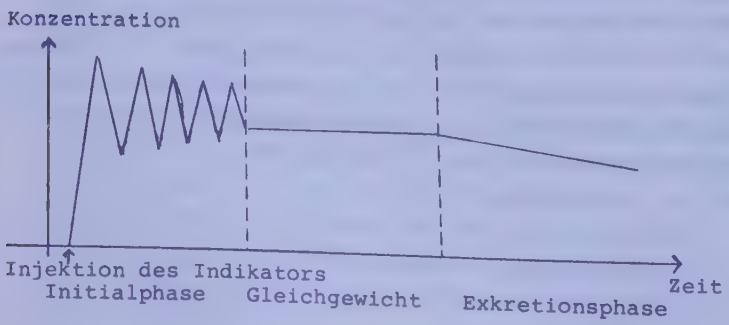
Auch HOBBS (21) betont, daß sich das Albumin sowohl im Plasmaraum als auch in einem Teil des lymphatischen Systems verteilt. Nach der Blutvolumenmessung kann daher die zirkulierende Blutmenge etwas größer erscheinen. Seiner Meinung nach ist aber der Durchtritt des Albumins durch die Kapillarmembranen, sofern normale Umstände herrschen, innerhalb der ersten 1o Minuten unerheblich.

Für unsere Versuche mit J^{131} zur Bestimmung des Blutvolumens verwenden wir radiomarkiertes Humanserumalbumin (RIHSA , Radioactive-Jodid-Humanserum-Albumin). Humanalbumin läßt sich wie andere Proteine mit verschiedenen Jodisotopen in vitro markieren. Jod^{131}- HSA ist kommerziell erhältlich mit einer spezifischen Aktivität von 0,5 μ Ci/mg Albumin.

Wie schon oben erwähnt, steht das intravasale Serumalbumin mit dem extravasalen Pool im Austausch. Man findet also nach der Injektion von RIHSA in dem Gefäßstrom einen stetigen exponentiellen Abfall der Plasmaaktivität, der beim Menschen in der ersten Stunde 1O % beträgt(8).

Die Durchmischung des Indikators mit dem zirkulierenden Blutvolumen dauert nach der Injektion ca. 3 - 5 Minuten und ist erst dann abgeschlossen, wenn die Konzentration über einen bestimmten Zeitraum gleichbleibt (beim Menschen durchschnittlich 9 Minuten). Danach beginnt die Ausscheidungsphase, in der die Konzentration im Blut wieder abnimmt (21).

Abb. 1 Die drei Phasen nach der Applikation des Indikators in die Blutbahn (J.T. HOBBS)



Bei der Blutvolumenbestimmung mit Cr^{51} werden die Erythrozyten irreversibel markiert. Benutzt man als Ausgangssubstanz Natriumchromatlösung ($Na_2^{51}CrO_4$), in der das Cr^{51} chemisch in sechswertiger Form vorliegt, so kann mit einer guten Etikettierung gerechnet werden (11). In 30 Minuten sind ca. 80 % und in zwei Stunden ca. 93 % der zugesetzten Chrommenge in die roten Blutkörperchen aufgenommen (19). Das sechswertige $^{51}CrO_4$ - Ion durchdringt dabei die intakte Zellmembran der Erythrozyten, ohne sie zu schädigen und wird im Innern der Zelle zum dreiwertigen Chrom reduziert. Anschließend wird dieses an die Globinfraktion des Hämoglobins gebunden. Beim Vorliegen der dreiwertigen Form ist nur eine geringe Markierung von intakten Erythrozyten möglich (11). Setzt man Ascorbinsäure dazu, so wird das ungebundene Chromat sofort reduziert und kann dann nicht mehr in die roten Blutkörperchen aufgenommen werden. Damit ist man in der Lage, den Vorgang der Markierung jederzeit zu unterbinden (19).
STERLING und GRAY (17) wiesen nach, daß in Erythrozyten eingewandertes Chrom in eine nicht diffundierende Form umgewandelt wird.

6. Radioaktive Strahlenbelastung bei der Blutvolumenbestimmung mit J^{131}- HSA

Jede nuklearmedizinische Untersuchung muß so durchgeführt werden, daß genetische und somatische Strahlenschäden mit Sicherheit ausgeschlossen werden können. Das Ausmaß der Strahlenbelastung hängt von der Art der ionisierenden Strahlung und der Menge der absorbierten Dosis ab. Dabei muß man bedenken, daß einzelne Organe (kritisches Organ) eine besondere Affinität bestimmten Elementen gegenüber besitzen. Sie sind daher unter Umständen bei Inkorporation von Radionukliden einer höheren Strahlenbelastung ausgesetzt als der Ganzkörper.

Für die Strahlenbelastung ist weiter die effektive Halbwertszeit (HWZ = T 1/2) des entsprechenden Nuklids entscheidend. Die effektive Halbwertszeit ist abhängig sowohl von der physikalischen sowie von der biologischen Halbwertszeit und läßt sich über folgende Formel berechnen:

$$T\ 1/2\ (eff) = \frac{T\ 1/2\ (biol)\ .\ T\ 1/2\ (phys)}{T\ 1/2\ (biol) + T\ 1/2\ (phys)}$$

Daraus kann man schließen, daß langlebige Nuklide bei kurzen biologischen Halbwertszeiten ebenso unbedenklich sind, wie kurzlebige Nuklide trotz großer biologischer Halbwertszeiten.

Um bei Untersuchungen mit Radionukliden die Gesamtdosis abschätzen zu können, muß man die durch ß- und-γ Strahlen bedingten Dosen addieren. Da, wie schon oben erwähnt, radioaktive Stoffe im Körper ungleichmäßig verteilt werden, treten damit besondere Schwierigkeiten auf. Man muß die Dosisbelastung des kritischen Organs und des Gesamtkörpers gesondert berechnen.

ZELLER und SIEWERT (46) haben eine Überschlagsberechnung der Strahlenbelastung bei der Blutvolumenbestimmung mit J^{131}- HSA beim Pferd aufgestellt. Die Berechnung der Gesamtkörperdosis ergibt bei Injektion von 30 μCi J^{131}- Humanserum-Albumin bei einem 500 kg schweren Pferd für die ersten 24 Stunden eine Dosis von 2 mrad und für den gesamten Zeitraum bis zur völligen Ausscheidung 20 mrad. Für die Schilddrüse, die das kritische Organ für J ist, beträgt die Dosis für die ersten 24 Stunden ca. 100 mrad und bis zur völligen Ausscheidung 1,3 mrad. Um die Strahlenbelastung abschätzen zu können, muß man diese errechneten Werte mit Dosen vergleichen, bei denen nachgewiesenermaßen eine Schädigung ausgeschlossen ist.

Die ICRP (International Commitee of Radiology Protection, 32) hat nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen höchstzulässige Dosen für einzelne Organe und den Gesamtkörper festgelegt. Danach dürfen der Ganzkörper mit 0,5 rem pro Jahr und die Schilddrüse mit 3 rem pro Jahr belastet werden. Daraus wird ersichtlich, daß die Belastung durch die Blutvolumenbestimmungen mit RIHSA weit unterhalb der zulässigen Grenzen liegt und eine Gefährdung des Organismus ausgeschlossen werden kann.

B. Eigene Untersuchungen

1. Die Aufgabe dieser Arbeit

Bei jungen Trabrennpferden, die untrainiert von der Weide kamen, wurde die Entwicklung des Blutvolumens innerhalb zweier Trainingsjahre beobachtet. Gleichzeitig sollte dabei die praktische Anwendung der Methode der Blutvolumenbestimmung mit RIHSA unter den Arbeitsbedingungen auf der Trabrennbahn geprüft und ihre Genauigkeit bestimmt werden.

An vierzig 2-jährigen Trabrennpferden wurden deshalb vierteljährlich zwei Jahre hindurch die Ruheblutvolumina und nach der Belastung die Gesamtblutvolumina mit J^{131}- HSA bestimmt.
Darüberhinaus interessierte die Frage, inwieweit der Blutvolumenanstieg im Wachstum befindlicher Trabrennpferde ein Maß für ihre Leistungsfähigkeit darstellt.

2. Material

Als Versuchsmaterial zur Bestimmung des Blutvolumens mit J^{131}- Humanserum - Albumin standen insgesamt vierzig 2-jährige Pferde der Trabrennbahn in Mariendorf in zwei Gruppierungen zur Verfügung. Die beiden Gruppen (Mariendorf II, 1972 und III, 1973) setzen sich aus 16 Stuten und 24 Hengsten zusammen. Aus beiden Testgruppen schieden jeweils 4 Pferde nach einem halben Jahr vollständig aus.

Zusätzlich wurden acht Reitpferde der Klinik für Pferdekrankheiten in die Vorversuche mit RIHSA einbezogen.

Zu den Vorversuchen mit Cr^{51} standen uns Versuchshunde und sechs Pferde der Klinik für Pferdekrankheiten zur Verfügung.

Versuchsbedingungen

Die Versuchsdauer erstreckte sich über ein bis zwei Jahre, wobei von allen Pferden etwa alle drei bis vier Monate das Blutvolumen bestimmt wurde. Die Blutentnahmen fanden

in den Ställen der Trabrennbahn in Mariendorf statt. An den Untersuchungstagen waren die Pferde noch nicht gearbeitet worden. Nach der Injektion von J^{131}- HSA wurden sie in dem nachfolgenden Training, je nach Gesundheits- und Trainingszustand, unterschiedlich gefordert. Die Aktivitätsmessungen der Blutproben fanden anschließend in der Klinik für Pferdekrankheiten statt.

3. Methodik der Blutvolumenbestimmung mit J^{131}- HSA und Cr^{51}

3.1. Versuchsablauf mit RIHSA

Zur Herstellung der Untersuchungslösung werden 5oo-7oo µCi RIHSA mit 1oo ml steriler physiologischer Kochsalzlösung vermischt. Von dieser gut durchgeschüttelten Flüssigkeit werden 1o ml mit einer Einmalspritze entnommen und in die Vena jugularis des Pferdes injiziert. Vor der Injektion der Flüssigkeit ist besonders darauf zu achten, daß sich die Vena jugularis wieder völlig entstaut hat. Erst dann erfolgt innerhalb einer Minute langsam und stetig die Injektion. Damit eine bessere Durchmischung mit dem Blut erreicht wird, soll die Kanüle axial im Gefäß liegen. Nach 1o Minuten wird aus der gegenüberliegenden V. jugularis mit einer 5 ml Einmalspritze Blut zur Bestimmung des Ruheblutvolumens entnommen und je 2 ml in zwei bereitstehende Meßröhrchen gefüllt. Danach soll das Pferd maximal belastet werden. Diese Belastung sollte hier und bei den folgenden Nachkontrollen möglichst gleichmäßig ausfallen, damit die Ergebnisse zu vergleichen sind. Durch das unterschiedliche Trainingsprogramm der Trainer konnte diesem Wunsch meistens nicht nachgekommen werden. Nach der Belastung wird nochmals mit einer 5 ml Einmalspritze Blut zur Bestimmung der Gesamtblutmenge entnommen. Davon werden je 2 ml in zwei Meßröhrchen eingefüllt. Die Impulsrate wird mit dem Szintillationszähler gemessen.
Als Vergleichsgröße zur Berechnung wird ein definierter Standard hergestellt. Dazu haben wir von der vorher beschriebenen Lösung 1o ml entnommen und ad 2 Liter Leitungswasser ergänzt. Von dieser gut durchgeschüttelten

Lösung werden mit einer Vollpipette 2 ml entnommen und in ein Meßröhrchen gegeben. Nach der Messung der Impulszahl pro Minute im Bohrloch eines Szintillationszählers wird davon der Nulleffekt (NE) abgezogen. Anschließend werden die Impulsraten der Blutproben festgestellt.
Die Impulsraten der Blutproben und des Standards stehen im reziproken Verhältnis zum Blutvolumen und dem Standardvolumen:

$$\frac{S}{B} = \frac{BV}{SV}$$

S = Imp/min für 2 ml Standard
B = Imp/min für 2 ml Blut
BV = Blutvolumen
SV = Standardvolumen (2ooo ml)
Bei bekanntem Standardvolumen und bekannten Impulsraten der Standard- und Blutproben läßt sich das Blutvolumen berechnen:

$$\text{Blutvolumen} = \frac{S \times SV}{B}$$

Rechenbeispiel:

Standard	Blutprobe
2 ml = 64 2o6 Imp/min	2 ml = 5 o27 Imp/min
- NE = 499 Imp/min	- NE = 499 Imp/min
63 7o7 Imp/min	4 528 Imp/min

$$\frac{63\ 7o7 \times 2ooo}{4\ 528} = 28\ 14o \text{ ml} = 28{,}14 \text{ Ltr. Blutvolumen}$$

Ist eine Wiederholung der Untersuchung notwendig, so muß die Restaktivität im Blut vor der Injektion bestimmt und von der Aktivität im Blut nach der Injektion als Nulleffekt subtrahiert werden.
Aus dem Gesamtblutvolumen läßt sich mit Hilfe des Hämatokritwertes, der bei unseren Versuchspferden in Ruhe durchschnittlich bei 34 % und nach der Belastung bei 45 % liegt, das Erythrozyten- und Plasmavolumen berechnen. Das geschieht nach folgenden Formeln:

$$EV = \frac{GBV \times Hk}{1oo} \quad \text{und} \quad PV = GBV - EV$$

Es bedeuten dabei:

EV = Erythrozytenvolumen

PV = Plasmavolumen

Hk = Hämatokrit

GBV = Gesamtblutvolumen

ZELLER und SIEWERT (46) blockierten bei ihren Versuchen die Schilddrüse durch Eingabe von 5o g Jodkalium per os, um Fehler durch Speicherung von Jod in der Schilddrüse auszuschließen. Diese Sicherheitsmaßnahme halten wir für überflüssig,da im RIHSA weniger als 1 % des J^{131} in anorganischer Form vorliegt und organisches Jod nicht gespeichert wird.

3.2 Erythrozytenmarkierung mit Cr^{51}

Bei der von uns verwendeten Methode der Erythrozytenmarkierung mit Cr^{51} werden kurz vor der Blutentnahme in einer 2 ml Einmalspritze, die trockenen ACD - Puffer enthält, o,4 ml in aqua pro injectione gelöstes Cr^{51}, mit einer spezifischen Aktivität von 4oo μ Ci/g aufgezogen. Danach wird die Plastikspritze mit dem Patientenblut bis zur 2 ml Marke aufgefüllt. Nach guter Durchmischung und einer Inkubationszeit von 5 Minuten wird die Spritze an dem einen Ende eines Ionenaustauscherschlauches befestigt. Der Schnellmarkierungsapparat (Signette[+]) drückt nun das Blut innerhalb von drei Minuten gleichmäßig durch den Schlauch. Die Injektionsspritze enthält dann das injektionsfertige Cr^{51} Blut.

Durch die Messung der Aktivität der Injektionsflüssigkeit und der nach der Injektion abgenommenen Blutmenge kann jetzt das Blutvolumen ermittelt werden. Seine Berechnung erfolgt in gleicher Weise wie die der Blutbestimmung mit J^{131} - HSA.

4. Vorversuche mit Cr^{51}

Die Vorversuche der Blutvolumenbestimmung mit Cr^{51} an sechs Pferden lieferten keine auswertbaren Ergebnisse.

[+]) Firma MEDIPHA GmbH

Nach der im Kapitel 3 beschriebenen Methode markierten wir die Erythrozyten der Pferde mit 400 µCi Cr^{51}. Nach der Durchmischung der markierten Erythrozyten mit dem Blut lagen die gemessenen Aktivitäten der Blutproben nur gering über dem Nulleffekt. Grundsätzlich sollten aber bei nuklearmedizinischen Untersuchungen die Impulsraten der Meßproben mindestens das Dreifache des Nulleffektes betragen, da sonst die diagnostische Aussage durch die Schwankungen des Nulleffektes zu stark beeinflußt würde.
Das hieße, daß zur Bestimmung des Blutvolumens bei Pferden mit Cr^{51} ein Vielfaches der oben angegebenen Aktivität notwendig wäre. Da uns eine solche Aktivität im Hinblick auf den Strahlenschutz nicht vertretbar erschien, haben wir auf weitere Versuche zur Blutvolumenbestimmung mit Cr^{51} beim Pferd verzichtet.

5. Untersuchungen zur Abschätzung der Genauigkeit der Methode

Man muß davon ausgehen, daß die Voraussetzung bei der Durchführung von Versuchen unter Praxisbedingungen im Gegensatz zu Laboruntersuchungen wesentlich ungünstiger sind, besonders in Bezug auf die Genauigkeit.
Die Genauigkeit der Blutvolumenbestimmung ist, je nach der gewählten Methode, von verschiedenen Faktoren abhängig. Bei der von uns gewählten Methodik beispielsweise vom Injektionsvorgang, der Blutentnahme, dem Material der Instrumente u.a. Die in Frage kommenden Fehlerquellen müssen deshalb auf ein Minimum reduziert und in ihrer Größe abgeschätzt werden.
Die beim Umgang mit radioaktivem Material verwendeten Glasspritzen müssen, da sie kontaminiert sind, anschließend bis zum Abklingen der Aktivität gelagert werden, ehe sie wieder benutzt werden können. Man muß für diese Lagerung von 10 physikalischen Halbwertszeiten ausgehen, das entspricht bei J^{131} 82 Tage. Plastikspritzen können dagegen nach einmaligen Gebrauch direkt zum radioaktiven

Abfall gegeben werden. Darüberhinaus ist durch ihre Unzerbrechlichkeit die Kontaminationsgefahr für die Umgebung durch radioaktive Substanzen vermindert. Die Plastikspritzen haben aber den Nachteil, nur auf 1/1o ml geeicht zu sein, im Gegensatz zu den Glasspritzen, die u.U. auf 1/1oo ml geeicht sind. Daher ist bei der Verwendung von Plastikspritzen mit einem größeren Fehler als bei Glasspritzen zu rechnen. Da wir aber aus Gründen der praktischeren Handhabung die Plastikeinmalspritzen benutzen, haben wir einzelne Abschnitte des Untersuchungsvorganges auf ihre Genauigkeit geprüft und versucht, die daraus resultierenden Fehler zu bestimmen.

Im einzelnen wurden folgende Versuche durchgeführt:

1. Abschätzung der Injektionsgenauigkeit
2. Abschätzung der Genauigkeit bei der Abfüllung der Blutproben
3. Versuch zur Abschätzung des auftretenden Gesamtfehlers

zu 1. Durch die ungenauere Eichung der Plastikspritzen ist es möglich, daß Pferden innerhalb einer Versuchsreihe unterschiedliche Aktivitäten injiziert werden. Um den daraus resultierenden Fehler abschätzen zu können, haben wir die Genauigkeit der Injektionsmenge überprüft.

Wie bei den Blutvolumenbestimmungen werden 1 ml J^{131}-HSA mit einer Radioaktivität von 5oo µCi mit 1oo ml physiologischer Kochsalzlösung vermischt. Davon werden je 1o ml in Plastikspritzen aufgezogen, in Meßröhrchen abgefüllt und die Impulsrate dieser Proben bestimmt. Die 9 gemessenen Impulsraten sind in Tabelle I mit arithmetischem Mittel und Standardabweichung angegeben. Ihr Variationskoeffizient beträgt o,88 %.

zu 2. Auch beim Abfüllen der Blutproben können Fehler auftreten. Beispielsweise können Restblutmengen, die der Kanüle und dem Spritzenkörper anhaften, sowie Luftblasen im Spritzenlumen zu verfälschten Ergebnissen führen. Um diesen Fehler möglichst klein zu halten, werden bei jeder

Blutvolumenbestimmung 5 ml Blut entnommen und davon je 2 ml in zwei Meßröhrchen abgefüllt. Zur Berechnung des Blutvolumens wird dann immer das Mittel beider gemessener Impulsraten herangezogen. Um den beim Abfüllen der Proben durch die Ungenauigkeit der Plastikspritzen auftretenden Fehler abschätzen zu können, haben wir zwei unterschiedliche Versuche vorgenommen. Zum einen haben wir die Differenz der Impulsraten der zwei Meßproben gebildet und ins prozentuale Verhältnis zum jeweiligen Mittelwert gesetzt. Dazu verwenden wir alle Wertepaare von 29 Pferden, deren Blutvolumen im April 1973 bestimmt wurde. Die Impulsraten und die prozentualen Abweichungen sind in der Tabelle II zu sehen.
Der Maximalwert dieser Quotienten beträgt 3,78 % und ihr Median 1,2 %. Dieser Wert würde bei einem angenommenen Blutvolumen von 3o Ltr. O,4 Ltr. Abweichung bedeuten.

Zum anderen interessierte uns, in welchem Maße sich diese unterschiedlichen Impulsraten auf das absolute Blutvolumen, gemessen in Ltr., auswirken. Um sich einen Überblick über die dadurch bedingte Abweichung des Resultates zu verschaffen, wird aus den etwa 36o protokollierten Meßwertepaaren eine Stichprobe von n = 6o zufällig gezogen. Von diesen wird die absolute Differenz der aus den beiden inzelwerten errechneten Blutmenge, sowie ihr prozentuales Verhältnis zum kleineren Wert, gebildet (Tab.III).

Die maximale prozentuale Abweichung beträgt 2o,7 % (5,9 Ltr.). Bei solchen Werten sind schon bei der Messung die Impulsraten so unterschiedlich, daß die daraus resultierenden Blutvolumina zwar berechnet, aber nicht ausgewertet wurden. Untersuchungen an solchen Pferden sind meist an den folgenden Tagen wiederholt worden.
Der Medianwert dieser prozentualen Abweichung beträgt 2,3 %. Dieser Wert würde bei einem angenommenen Volumen von 3O Ltr. eine Abweichung von O,8 Ltr. bedeuten.

zu 3. Zusätzlich zu den bisher beschriebenen Untersuchungen haben wir die gesamte Meßmethode wie folgt simuliert:

1o ml einer frisch zubereiteten Injektionslösung (o,5 mCi RIHSA in 1oo ml phys. Kochsalzlösung) werden 1o mal in je 2ooo ml Leitungswasser vermischt. Von diesen dem Standard entsprechenen Lösungen werden je 2 ml in zwei Meßröhrchen abgefüllt, und die Impulsrate der Proben gemessen. Aus den beiden Meßwerten wird das Mittel gebildet. Diese Werte sind der Tabelle IV im Anhang zu entnehmen.
Die durchschnittliche Impulsrate dieser 1o Werte beträgt 1987 Imp/2min mit einem Variationskoeffizienten von 2,75 %.

Die bei den Pferden bestimmten Blutvolumina liegen in der Größenordnung von 3o Ltr. Wird dieser Wert zugrunde gelegt, errechnet sich mit der von S. 16 angegebenen Verdünnungsformel beim Einsetzen der durchschnittlichen Impulsraten des Standards (1986 Imp/2min) eine Impulsrate für eine Blutprobe von 132 Imp/2min. Wird dieser Wert wiederum als Fixwert betrachtet und in die Maximalwerte der Impulsraten der 1o-fachen Bestimmung in die Gleichung eingesetzt, ergeben sich die errechneten Blutvolumina von 31,5 Ltr., bzw. 28,9 Ltr.
Wird analog zu dieser Überlegung mit den Werten für den einfachen Streuungsbereich gerechnet, erhalten wir eine Abweichung von $\pm$ o,8 Ltr.
Vergleicht man diese Abweichungen mit dem angenommenen Blutvolumen (3o Ltr.), so liegt diese durchaus innerhalb vertretbarer Grenzen.
Mit diesen Untersuchungen zur Abschätzung des methodischen Gesamtfehlers haben wir uns bemüht, sämtliche in Frage kommenenden Fehlerquellen größenordnungsmäßig zu erfassen. Uns ist bewußt, daß neben den methodischen Fehlerquellen noch weitere bestehen. Diese sind in der biologischen Varianz der Pferde zu suchen und können nicht durch Kontrollversuche erfaßt werden.

6. Beeinflussung der Meßergebnisse durch die Ausscheidung von J^{131}- HSA in den extravasalen Raum

Bei der Blutvolumenbestimmung mit J^{131}-HSA muß man berücksichtigen, daß schon während der Durchmischungszeit ein geringer Anteil des markierten Serumalbumins in extravasale Räume ausgeschieden wird. Die daraus resultierende Verringerung der Aktivität im Blut kann bei der Berechnung des Blutvolumens einen zu hohen Wert vortäuschen.
Um die Höhe dieser Abweichung zu erfassen, führten wir einen Versuch an 8 gesunden Pferden der Klinik für Pferdekrankheiten durch, die sich während des Versuchs im Stall in Ruhe befanden. Den Tieren wurde - wie bei allen Blutvolumenbestimmungen - je ca. 5o µCi J^{131}-HSA injiziert. Nach 1o, 3o und 6o Minuten wurden Blutproben abgenommen und abschließend die scheinbare Blutvolumenzunahme, bezogen auf den 1o Minuten-Wert, errechnet.(Tab. V im Anhang). Die scheinbare Blutvolumenzunahme 3o' und 6o' p.i., bezogen auf den 1o Minuten-Wert, war bei den einzelnen Pferden sehr unterschiedlich. Die Werte schwankten zwischen 1,2 % und 11 % beim 3o'-Wert und 3,3 % und 17,8 % beim 6o'-Wert. Im Mittel ergab sich eine scheinbare Blutvolumenzunahme von 5,6 % bzw. 9,5 %. Der Median der Werte lag bei 5,o % bzw. 8,7 %.
Um den durch das Abströmen von J^{131}-HSA in extravasale Räume auftretenden Fehler auszugleichen, hatten wir bei der Berechnung alle die Blutvolumina mit dem Faktor 5,6 bzw.9,5 korrigiert, bei denen die Blutprobe zwischen 3o und 5o bzw. 5o und 7o Min. p.i. abgenommen werden konnte. Das erlaubte einen Vergleich dieser Blutvolumina mit jenen, bei denen die Blutproben schon nach kurzer Zeit abgenommen wurden.

7. Auswertung der Ergebnisse der Blutvolumenbestimmungen mit J^{131}-Humanserum - Albumin

Aus der Tabelle VI (Anhang) ist für die einzelnen Pferde das Gewicht, das Ruheblutvolumen und das Gesamtblutvolumen der Erstuntersuchungen und den Nachkontrollen ersichtlich. Außerdem sind die prozentualen Blutvolumenzunahmen, bezogen auf das Ruheblutvolumen, nach den unterschiedlichen Leistungen aufgeführt.

Grundsätzlich können wir bei allen Pferden feststellen, daß während der Entwicklung bei steigendem Gewicht sowohl das Ruheblutvolumen als auch die Gesamtblutmenge zunehmen. Eine Ausnahme bilden die Pferde, 3,7 und 9 aus der Gruppe Mariendorf II. Bei den ersten beiden Pferden sank die Ruheblutmenge,obwohl die Tiere regelmäßig trainiert wurden, das Gesamtblutvolumen stieg dagegen an. Bei Pferd 9 fiel sowohl das Ruhe - als auch das Gesamtblutvolumen im Laufe des Untersuchungszeitraumes ab. Dieses Pferd litt an einer Erkrankung der oberen Atemwege, konnte nie richtig trainiert werden und wurde deshalb nach einem 3/4 Jahr von der Rennbahn genommen.

Die Zunahme des absoluten Blutvolumens während des Wachstums bei der überwiegenden Zahl der Pferde war zu erwarten. Darüberhinaus interessierte uns, ob sich das relative Blutvolumen, ausgedrückt in ml Blut pro kg Körpergewicht, entsprechend verhält.

Durchschnittlich betrug das relative Blutvolumen der Tiere während des ersten Untersuchungsjahres ca. 7o,o - 73,o ml /kg Kgew. Im Laufe des zweiten Untersuchungsjahres stieg das relative Blutvolumen auf durchschnittlich ca. 81,o ml/kg Kgew. Die entsprechenden durchschnittlichen Werte für das relative Gesamtblutvolumen nach Belastung zeigten einen ähnlichen Verlauf; sie betrugen im ersten Untersuchungsjahr 8o - 9o ml/kg Kgew und im zweiten Untersuchungsjahr um 1oo ml/kg Kgew.

Wir können also sagen, daß sich das Blutvolumen nicht nur entsprechend der Gewichtszunahme während des Wachstums der Tiere vergrößerte, sondern darüberhinaus auch während des Trainings eine zusätzliche Zunahme des Blutvolumens erfolgte. Die Werte und die sich daraus ergebende Aussage muß allerdings kritisch betrachtet werden, weil zwischen den einzelnen Tieren sehr starke Unterschiede bezüglich ihrer individuellen Konstitution und Kondition bestanden.
Bei dem Versuch, das Pferdematerial anhand der tabellarischen Werte in Leistungsgruppen einzuteilen, haben wir festgestellt, daß dies nicht möglich ist. Die Gründe dafür liegen - wie schon erwähnt - in trainings- und krankheitsbedingten Leistungsschwankungen der Pferde und der damit zusammenhängenden Variabilität der Ergebnisse. Deshalb soll hier an Beispielen das unterschiedliche Verhalten der Blutvolumina während des Untersuchungszeitraumes diskutiert werden.

Gruppe Mariendorf II (1972)

Pferd Nr. 1 (Ruheblutvolumen = RBV =2o,1 l) zeigt zu Beginn des Trainings, bei geringer Anforderung, eine Ausschüttung des Blutvolumens von 18,4 %. Im Laufe des Trainings ergibt sich bei gleichbleibender Belastung ein Wert von 23 % (RBV = 23,4 l). Trotz andauernden Trainings beträgt die Ausschüttung des Blutvolumens bei der 2. Nachkontrolle (=Nk) 21,3 % (RBV = 2o,1 l) nach 15 Minuten Bewegung. Die 3. Nk. ergibt dagegen eine Messung von 22,4 % (RBV= 22,41) nach 2o Minuten langsamen Trabes. Bei dem folgenden schnellen Tempo (4. Nk.) gelangen nur 13,9 % (RBV=28,6 l) aus den Blutspeichern in den Kreislauf. Die 5. Nk. ergibt einen Wert von 13,5 % (RBV=3o,6 l).

Pferd Nr. 5 weist nach vier Fahrtrunden eine Blutvolumenausschüttung von 18,2% (RBV=3o,1 l) auf. Bei der 1. Nk. sinkt sie auf 17 % (RBV=27,8 l) ab, obwohl von dem Pferd 2o Minuten lang eine mittlere Geschwindigkeit verlangt wurde. Nach einer Erkrankung (Druse) ergeben die folgenden Nachkontrollen bei gleicher Leistung des Pferdes (2o Minuten Tempo und ein heat) eine Steigerung von 33 % (RBV= 27,2 l; 3. Nk.) auf 41,3 % (RBV= 32,4 l; 4. Nk.). Bei der 5. Nk. werden 21,5% (RBV = 32,o l) das Blutes aus den Blutspeichern in den Kreislauf entleert. Hier wird ersichtlich, daß das Pferd durch die Krankheit leistungsvermindert ist und durch die nachfolgende Anstrengung eine hohe Blutvolumenausschüttung erfolgt, die sich aber bei der 5. Nk. deutlich verringert.

Pferd Nr. 7 zeigt bei der 2. und 3. Nachkontrolle, trotz verschiedener Belastung, keine wesentlichen veränderten Blutvolumenausschüttungen (17,5 % /RBV= 26,5 l und 18,2 %/ RBV= 33,4 l). Während der 4. Nk. steigt der Wert durch schnelles Fahren auf 21,7 % (RBV= 31,2 l) an. Bei der zeitlichen etwas längeren Belastung (5. Nk.) sinkt die Blutvolumenausschüttung unwesentlich auf 21,5 % (RBV = 31,6 l). Die Ergebnisse der 4. und 5. Nk. zeigen, daß bei diesem Pferd,bei geringer Mehrbelastung, sich das Blutvolumen

nicht erhöhen muß, sondern nahezu gleichbleiben kann.

Pferd Nr. 13, während der 1. Nk. nimmt das Blutvolumen nach dem ersten heat 23,2 % (RBV= 25,4 l) zu. Der Belastungswert der 2. Nachkontrolle, durch schnelles Fahren, zeigt eine Ausschüttung von 2o,1 % (RBV = 34,8 l) an. Nachfolgend wird es wegen einer Trichophytie mehrere Wochen aus dem Training genommen. Die Messungen der 3. und 4. Nk. ergeben bei einer mäßigen Belastung eine Ausschüttung von 19,9 % (RBV =29,1 l) und 12,4 % (RBV = 33,8 l). Die 5. Nk. ergibt eine Erhöhung des Blutvolumens um 18,1 % (RBV = 32,o l) durch wechselndes Fahren. Gegensätzlich zu Pferd Nr. 5 sind hier, obwohl das Training abgebrochen worden war, keine Erhöhung, sondern eine Senkung des Blutvolumens festzustellen.

Pferd Nr. 15, die Blutvolumenausschüttung dieses Pferdes beträgt zu Beginn des Trainings nach dem ersten heat 1o,4% (RBV = 28,6 l)und steigt nach der 2. Nk. auf 42,1 %(RBV = 27,8 l), nach 15 Minuten geringer Belastung an. Die Belastungswerte der 3. und 5. Nk. ergeben trotz hoher Anforderungen einen Abfall auf 22,9 % (RBV = 26,1 l) und 18,8 % (RBV = 3o,8 l). Die große biologische Variabilität des Organismus wird hier deutlich. Zuerst steigt das Blutvolumen bei nur geringer Leistung an und fällt dann trotz stetigen Trainings ab.

Gruppe Mariendorf III (1973)
==========

Pferd Nr. 3, nach 1o minütigem Longieren auf tiefem Boden steigt die Blutvolumenausschüttung auf 9,5 % (RBV= 26,51) an. Die 1. Nk. ergibt einen Anstieg auf 12,2 % (RBV =24,51) und die 2. Nk. auf 17,5 % (RBV =29,11), bei mäßiger Belastung. Sie steigt dann sprunghaft bei der 3. Nk., durch schnelles Fahren und einem heat auf 4o,3 % (RBV= 3o,2 l). Im Verlaufe der Trainingsarbeit ist hier ein stetiges Ansteigen des Blutvolumens, besonders bei der letzten Nachkontrolle, zu beobachten.

Pferd Nr. 7, anfänglich werden nach 1o minütigem Longieren 15,8 % (RBV = 24,6 l) des Blutvolumens ausgeschüttet. Bei der 1. und 2. Nk. beträgt die prozentuale Ausschüttung; bei annähernd gleicher Belastung, zuerst 21,3 % (RBV = 22,5 l) und dann 19,7 % (RBV = 35,5 l). Danach erfolgt eine Entleerung des Blutvolumens von 28,6 % (RBV = 28,3 l / 3. Nk.), obwohl von dem Pferd keine Leistung gezeigt wurde. Damit steht es im Gegensatz zu Pferd Nr. 3, welches bei hoher Anforderung ein hohes Blutvolumen entleerte.

Pferd Nr. 14, nach 1o Minuten Longierarbeit ergibt die erste Kontrolle eine Ausschüttung von 8 % (RBV =17,5 l). Bei der folgenden ersten Nachkontrolle werden 2o,3 % (RBV = 19,7 l) und bei der 2. Nk., durch schnelles Fahren, 18,3 % (RBV = 24,5 l) ermittelt. Danach steigt bei gleicher Belastung die Ausschüttung auf 28 % (RBV = 22,81/ 3. Nk.) an. Dieses Pferd zeigt eine breite Variabilität in der Ausschüttung des Blutvolumens in Bezug auf das gleichbleibende Training.

Pferd Nr. 18 , hier interessieren besonders die Ergebnisse der 2. Nk., bei der die Ausschüttung des Blutvolumens durch zwei heats innerhalb kurzer Zeit gemessen wird und einmal 14 % (RBV = 3o,o l) und zum anderen 36,6 % (RBV = 3o,o l) beträgt. Die 3. Nk. zeigt eine 21,4 %-ige (RBV= 28,9 l) Entleerung nach schnellem Lauf und einem heat auf. Die Ergebnisse der 2. Nk. zeigen, daß bei diesem Pferd nach dem ersten heat keine völlige Entleerung der Blutspeicher stattgefunden hat, sondern nach dem zweiten heat noch eine Steigerung der ausgeschütteten Blutmenge erfolgte.

Pferd Nr. 21, nach scharfem Longieren auf tiefem Boden beträgt bei diesem untrainierten Pferd die Blutvolumenausschüttung 6o % (RBV = 3o,o l). Die erste Nachkontrolle ergibt nur noch einen Wert von 17,2 % (RBV = 29,o l). Während der 2. Nk. werden zwei heats gelaufen. Die prozentuale Ausschüttung beträgt hier zuerst 11,5 % (RBV = 33,o l) und danach 19,3 % (RBV = 33,o l). Nach der 3. Nk. beläuft sich die Ausschüttung auf 21,1 % (RBV = 32,3 l). Auch bei

diesem Pferd erhöht sich das Blutvolumen bei einer Leistung von zwei heats innerhalb von 2o Minuten.

8. Diskussion der Untersuchungen

Für jeden, der daran interessiert ist, das Blutvolumen zu bestimmen, oder die von anderen ermittelten Ergebnisse auszuwerten, ist es von Wichtigkeit, die typischen Merkmale der angewandten Methodik zu kennen (16). Die Methodik beeinflußt nicht nur die Genauigkeit der Ergebnisse, sondern ist auch für die Anwendung in der Praxis von großer Bedeutung.

Zwischen den von uns untersuchten Methoden, einmal die Verwendung von J^{131}-Humanserum-Albumin und zum anderen von Cr^{51}, fiel die Wahl aus Strahlenschutzgründen auf J^{131}-HSA.

KUNI, GRAUL, HUNDESHAGEN und SCHAUMLÖFFEL (26) stellen in ihrer Arbeit die Vor- und Nachteile der Methodik mit Cr^{51} zur Blutvolumenbestimmung denjenigen der J^{131}-Methode gegenüber. Sie vertreten die Auffassung, da Cr^{51} nur zu 7 % an die Plasmaproteine gebunden wird, daß der Fehler, der durch ihren Abstrom aus der Blutbahn gegeben ist, vernachlässigt werden kann. Anders ist es bei J^{131}, welches nur an die Plasmaproteine gebunden vorliegt. Hier liegt der Fehler, hervorgerufen durch den Abstrom in das umliegende Gewebe, weitaus höher. FRANK und GRAY (12) sind ebenso wie FINE und SELIGMAN (1o) der Ansicht, daß dies die Genauigkeit der Blutvolumenbestimmung belastet. Weiterhin sei die längere physikalische Halbwertszeit von Cr^{51} (27 Tage) gegenüber J^{131} (8 Tage) von Vorteil, weil sie eine längere ökonomische Vorratshaltung ermöglicht. Die Fehlerquellen bei der Lagerung von J^{131}-Albumin sind in dem Verschwinden des freien Jodids bei unsachgemäßer Behandlung (Schütteln, eine Eiweißkonzentration unter 3 g-%, Zimmertemperatur) zu suchen. J^{131}-Albumin muß daher relativ schnell verbraucht werden.

Der Vorteil der Markierung von Blutbestandteilen mit J^{131}-HSA liegt darin, daß die Substanz fertig geliefert wird. Dagegen muß bei der Verwendung von Cr^{51} erst das Blut des entsprechenden Patienten abgenommen werden und die Erythrozyten müssen mit Cr^{51} inkubiert werden. Diese Inkubation bedeutet sowohl in technischer als auch in zeitlicher Hinsicht einen relativ großen Aufwand. Durch die kurze physikalische und effektive Halbwertszeit von J^{131} liegen die Strahlendosen im ungefährlichen Bereich. Dagegen haben unsere Versuche mit Cr^{51} gezeigt, daß relativ hohe Aktivitäten verwendet werden müssen, um bei Untersuchungen an Pferden zu auswertbaren Ergebnissen zu kommen. In der Humanmedizin wird das radioaktive Cr^{51} zur vergleichenden Bestimmung des Ruheblutvolumens herangezogen und es liegen dort durchaus exakte Ergebnisse vor (3,45).

Im Gegensatz zur Farbstoffmethode (z.B. Evans blue) kann bei der Verwendung von J^{131}-HSA das Blutvolumen in einem Arbeitsgang bestimmt und ohne Zuhilfenahme des Hämatokrits berechnet werden. Die Blutvolumenbestimmung mit radioaktiven Isotopen ermöglicht darüberhinaus eine sofortige Zweitbestimmung, sobald diese notwendig erscheint.

Bei der Arbeit mit radioaktiven Substanzen muß beachtet werden, daß außer dem Geometriefehler und demjenigen, der durch den radioaktiven Zerfall zustande kommt, noch andere Fehlerursachen von Wichtigkeit sind, die es zu überprüfen und zu reduzieren gilt. Zum Beispiel muß die verwendete Testsubstanz gut durchgeschüttelt sein und optimal in den Gefäßstrom eingebracht werden. Dabei dürfen nur aktivitätsfreie Kanülen und Spritzen verwendet werden. Die Richtung der Kanüle muß möglichst genau in der des Axialstromes des Gefäßes liegen, und die Testflüssigkeit in die entstaute Vene injiziert werden. Entsprechend soll bei der Blutentnahme vorgegangen werden. Würde aus der gestauten Vene Blut entnommen werden, so wäre in dieser Probe die Aktivität angereichert. Das berechnete Blutvolumen würde damit keine repräsentative Größe mehr darstellen.

Weiter muß mit dem Aktivitätsverlust durch den Abstrom in das umliegende Gewebe gerechnet werden. Die Tabelle V zeigt an, daß ein Fehler durch die Ausscheidung von J^{131}-HSA in extravasale Räume zustande kommt. Die dadurch verursachte scheinbare Vergrößerung des Blutvolumens beträgt bei unseren Versuchen im Mittel 5,6 % nach 3o Minuten bzw. 9,5 % nach einer Stunde. Es muß aber die Einschränkung gemacht werden, daß dieser Faktor nur an einem sehr geringen Pferdematerial ermittelt wurde, so daß eine genauere Bestimmung nicht möglich war. Die Meßwerte erfahren durch eine Korrektur keine wesentliche Besserung, und der dadurch entstehende Fehler kann in die biologischen Varianz,dem das Pferdematerial unterliegt, mit hineingenommen werden. Die biologische Varianz setzt sich aus der genetischen Variabilität, der Variabilität der Population und den verschiedenen Einflüssen der Umwelt auf das Tier zusammen.
Der von uns ermittelte durchschnittliche methodische Gesamtfehler setzt sich aus den Ergebnissen der Untersuchungen zur Abschätzung der Genauigkeit zusammen. Ihre Aufgabe bestand darin, die durchschnittliche Fehlerabweichung, mit der die Zubereitung und Abfüllung des Standards in die Meßröhrchen, die Differenz des Blutvolumens aus zwei Einzelwerten, die Injektionsgenauigkeit und die Blutentnahmegenauigkeit behaftet sind, abzuschätzen. Der methodische Gesamtfehler liegt so niedrig,daß er vernachlässigt werden kann. Diese Resultate beweisen, daß auch bei Versuchen unter Praxisbedingungen, unter denen die Blutvolumenbestimmungen schwieriger und ungenauer durchzuführen sind als im Labor, mit auswertbaren Ergebnissen zu rechnen ist.
Der Standard bildet eine optimale Vergleichsgröße für die in den Kreislauf gegebene Aktivität. Da in das Blut des Tieres und in den Standard die gleiche Menge Aktivität eingebracht wird, ist es nicht notwendig, die applizierte Aktivität genau zu messen.

Die in den kontaminierten Geräten und in der Injektionsspritze verbleibende Restaktivität kann unberücksichtigt bleiben. Unbedeutend sind weiterhin die Sedimentierung der Erythrozyten, weil die Volumina von 2 ml sehr klein sind. Ebenso können die Schwankungen des Nulleffektes während der Messungen vernachlässigt werden.
Die ersten Blutproben wurden den Pferden in einem durchschnittlichen Alter von 1 1/2 Jahren entnommen. Es folgten alle drei bis vier Monate Kontrolluntersuchungen der Blutvolumina. Zur Zeit der letzten Blutvolumenmessung hatten die Tiere ein Alter von drei Jahren erreicht. Das bedeutet, daß bei den Fohlen in einer Wachstumsphase von zwei Jahren das Blutvolumen von Beginn des Trainings bis zu den ersten Rennen ständig kontrolliert wurde. Unsere Messungen betrafen dabei auch die Ermittlungen der prozentualen Blutvolumenausschüttung durch die Berechnung der Ruheblutmenge und des Gesamtblutvolumens.
Man weiß aufgrund von Untersuchungen an Menschen und Tieren, daß die Gesamtblutmenge die Leistungsfähigkeit beeinflußt. Bei unseren Untersuchungen interessierte uns unter anderem die Frage, ob das Blutvolumen und die Ausschüttung aus den Blutspeichern (Leber und Milz) bei Belastung ein objektives Maß für die Leistung eines Pferdes darstellen kann. Es bestehen zwar Angaben über die Ruhe- und Gesamtblutmenge bei Pferden, die an Hand der verschiedenen Methoden errechnet und verglichen werden (4, 6,7,46), aber nur wenige Autoren befaßten sich mit den Zusammenhängen zwischen der Leistungsfähigkeit und dem Blutvolumen bei Pferden und anderen Haustieren.(27,29,3o).

PERSSON (29) vergleicht die Größe und Zusammensetzung des Blutvolumens in Bezug auf das Trainingsstadium und die Rennleistung bei Pferden. Er vertritt die Meinung, daß, wenn eine normale Rennleistung an Hand der Größe des Blutvolumens vorhergesagt werden kann, es ebensogut möglich sei, krankhafte Veränderungen mit größerer Genauigkeit zu beurteilen.

Da sich die Pferde im Entwicklungsstadium befanden, veränderte sich ihr Gewicht im Laufe der zwei Untersuchungsjahre. Die durch das Wachstum notwendig gewordene vermehrte Versorgung der Körperteile mit Blutflüssigkeit hatte eine physiologische Steigerung des Blutvolumens zur Folge. Daher kann sich das Blutvolumen in Relation zum steigenden Gewicht erhöhen. Es können allerdings keine genauen Angaben über die Menge der Blutvolumenzunahme festgelegt werden, weil diese zu sehr von endo- und exogenen Faktoren beeinflußt wird. Diese Schwankungen werden besonders deutlich bei den Pferden Nr.3 und 7 (Gruppe Mariendorf II), bei denen zwar das Ruheblutvolumen in Bezug auf das steigende Gewicht abfiel, das Gesamtblutvolumen aber stieg.

Die Menge der Blutvolumenausschüttung nach Belastung hängt von dem Grad der Anforderung an das Tier und seiner Leistung zur Zeit der Messung ab. Diese Leistungsanforderung wird wiederum von dem Trainingsprogramm bestimmt. Trotz dieser Einschränkungen stellen sich uns verschiedene Alternativen zur Beurteilung der Ergebnisse. Einerseits kann eine große Blutvolumenausschüttung bedeuten, daß ein leistungsschwaches Pferd schon bei einer geringen Belastung alle seine Reserven mobilisieren muß (Pferd Nr. 7/III). Andererseits kann ein leistungsstarkes gut durchtrainiertes Pferd über sehr hohe Blutreserven verfügen, so daß hier eine große Zunahme des Blutvolumens nicht unbedingt bedeuten muß, daß alle Reserven ausgeschüttet sind. Wenn bei einem Pferd nach der Arbeit nur eine geringfügige Zunahme des Blutvolumens festgestellt wird, so kann das ein Anzeichen dafür sein, daß für das Tier die geforderte Leistung keine außergewöhnliche Belastung darstellt. Man muß dabei aber berücksichtigen, daß bei nervösen Tieren schon die Aufregung bei der Injektion von J^{131}-HSA sowie bei der nachfolgenden Blutentnahme zu einer Ausschüt-

tung von Blut aus den Speicherorganen führen kann und somit ein zu hohes Ruheblutvolumen vorgetäuscht wird. Bei der nachfolgenden Arbeit würde dann unter Umständen keine weitere Mobilisierung der Reserven festzustellen sein.

Vergleicht man die Beispiele aus den Ergebnistabellen kritisch miteinander, so fallen zuerst die große Variabilität der Werte auf, so daß daraus keine bindende Aussagekraft gegenüber der Leistung eines Pferdes resultieren kann. Sie können daher nur einen momentanen individuellen Leistungszustand des Pferdes bezeichnen. Dieser ändert sich im Laufe des Trainings und hängt von den verschiedensten Faktoren ab. Es kann also nur mit Einschränkung von dem Einzelwert auf die augenblickliche Leistungsfähigkeit geschlossen werden.

9. Zusammenfassung

An vierzig gleichaltrigen Trabrennpferden wurde das Problem untersucht, mit welcher Genauigkeit die von uns angewandte Methode der Blutvolumenbestimmung in der Praxis einzusetzen ist. Ferner interessierte, inwieweit man von der Menge der Blutvolumenausschüttung aus den entsprechenden Blutspeichern auf die Leistungsfähigkeit eines Sportpferdes schließen kann.

Die Blutvolumenbestimmung wurde mit Hilfe von J^{131}-Humanserum-Albumin vorgenommen, nachdem die Verwendung von Cr^{51} aus Gründen des Strahlenschutzes ausgeschlossen wurde.

Wir kamen zu dem Ergebnis, daß der methodische Gesamtfehler, den wir aus vier verschiedenen Kontrolluntersuchungen ermittelten, bei den Versuchen unter Praxisbedingungen so niedrig liegt, daß der von uns benutzte Untersuchungsgang mit gut auszuwertenden Meßergebnissen in der Praxis angewandt werden kann.

Die prozentuale Blutvolumenausschüttung gibt nur über einen momentanen Leistungszustand des Pferdes Auskunft. Sie bildet jedoch kein objektives Maß für eine zukünftige Leistung eines noch im Wachstum befindlichen Pferdes, weil sie von zu vielen endo- und exogenen Faktoren beeinflußt wird.

S U M M A R Y

We have examined the accuracy of our method of determining blood volume and its utility under field conditions on forty trotters of the same age. Furthermore we were interested in to what extent it is possible to conclude from the quantity of blood emitted by the corresponding blood reservoirs on the capacity of sport horses.
The blood volume determinationwas carried out with J^{131} - Human-Serum-Albumin, after we had excluded the usability of Cr^{51} by reason of radiological protection.

Our results show that the methodical total error, which we had determined from four different controls, is so low under field conditions that our method can be used in the field with highly evaltable results.
The percentage of blood emitted by the reservoirs gives information only about the momentary capacity of a horse. It is not an objective measure for the future capacity of a growing horse for this is influenced by too many endogenic an exogenic factors.

A N H A N G :

C. Ergebnistabellen

Tab. I Werte der Meßversuche zur Injektionsgenauigkeit

Tab. II Meßwerte der Genauigkeitsprüfung bei der Blutvolumenentnahme

Tab. III Aus den Impulsraten berechnete Blutvolumina, ihre Differenz und ihr prozentuales Verhältnis

Tab. IV Werte der Meßversuche zur Abschätzung des auftretenden Gesamtfehlers

Tab. V Übersicht über die Ausscheidungsversuche mit J^{131}-Humanserum - Albumin

Tab. VI Übersicht über das Versuchsmaterial der Blutvolumenbestimmung mit J^{131}-HSA

Mariendorf II (1972) 8 Stuten
1o Hengste

Mariendorf III (1973) 8 Stuten
12 Hengste

Tab. I Werte der Meßversuche zur Injektionsgenauigkeit

Lfd. Nr.	Impulsrate der Injektionsmengen (Imp/min)
1	121 911
2	122 589
3	121 6o9
4	122 393
5	121 331
6	121 628
7	122 777
8	124 538
9	12o 894
	$\bar{x}$ = 122 186
	S = 1 o73
	V = 0,88 %

Tab. II Meßwerte der Genauigkeitsprüfung bei der Blutvolumenentnahme

Lfd. Nr.	Mittel der 2 Einzelimpulsraten (Imp/min)	Abweichung ± (Imp/min)	Abweichung (%)
1	3 817	3o	o,78
2	3 347	36	1,o7
3	3 166	18	o,56
4	3 316	27	o,82
5	2 894	3	o,o8
6	3 786	4o	1,o5
7	3 o35	21	o,69
8	3 418	65	1,9o
9	2 954	111	3,73
1o	2 969	64	2,16
11	3 948	62	1,3
12	3 447	24	o,69
13	3 821	46	1,2o
14	3 466	45	1,16
15	3 342	68	2,o3
16	3 o36	56	1,85
17	3 838	96	2,51
18	3 443	1	o,o2
19	4 592	171	3,78
2o	3 934	41	1,o3
21	4 666	55	2,37
22	4 195	31	o,74
23	3 1o9	73	2,36
24	2 7o9	44	1,6
25	2 996	8	o,26
26	2 623	5o	1,94
27	3 42o	28	o,4o
28	2 847	66	2,31
29	3 o1o	65	2,13

$\bar{x}$ = 1,46

Tab. III Aus den Impulsraten berechnete Blutvolumina, ihre Differenz und ihr prozentaules Verhältnis

BV 1 (l)	BV 2 (l)	Differenz (l)	Prozentuales Verhältnis der BV, bezogen auf den kleineren Wert (%)
36,4	35,8	1,2	3,4
44,3	47,3	3,o	6,8
31,o	31,5	o,5	1,6
3o,3	31,8	1,5	4,9
35,9	35,7	o,2	o,5
38,8	4o,5	1,7	4,3
32,o	31,4	o,6	1,9
39,o	37,2	1,8	4,8
4o,1	38,2	1,9	4,9
34,5	33,8	1,7	2,o
27,7	26,7	1,o	3,7
23,2	23,8	o,6	2,6
29,o	29,o	o,o	o
32,2	32,3	o,1	o,3
26,1	27,3	1,2	4,5
27,5	27,5	o,o	o
27,4	28,2	o,8	2,9
26,8	27,4	o,6	2,2
33,5	34,2	o,7	2,o
3o,1	28,5	1,6	5,6
2o,8	21,5	o,7	3,3
18,9	18,6	o,3	1,6
24,9	23,9	1,o	4,2
34,3	33,4	o,9	2,7
36,3	36,9	o,6	1,6
4o,8	39,4	1,4	3,5
27,4	28,1	o,7	2,5
3o,3	29,8	o,5	1,7
44,1	46,4	2,3	5,2
35,6	33,4	2,2	6,5
27,3	28,4	1,1	4,ô
25,o	25,2	o,2	o,8
27,9	27,7	o,2	o,7

Tab. III - Fortsetzung

BV 1 (l)	BV 2 (l)	Differenz (l)	Prozentuales Verhältnis der BV, bezogen auf den kleineren Wert (%)
24,3	29,2	o,1	o,3
28,4	34,3	5,9	2o,7
26,o	26,2	o,2	o,8
32,5	33,3	o,8	2,5
32,o	31,3	o,7	2,2
36,7	35,9	o,8	2,2
34,3	34,8	o,5	1,4
37,6	37,2	o,5	1,3
28,5	29,8	1,3	4,5
27,9	28,3	o,4	1,4
23,4	23,3	o,1	o,4
3o,6	31,4	o,8	2,6
3o,7	31,2	o,5	1,6
37,9	37,5	o,4	1,1
39,3	42,2	2,8	7,1
4o,9	39,6	2,3	3,2
32,1	33,3	1,2	3,7
31,o	31,3	o,3	o,9
25,6	24,5	1,1	4,4
35,o	35,8	o,8	2,3
32,8	34,3	1,5	4,5
33,2	33,6	o,4	1,2
26,3	26,9	o,6	2,3
23,9	24,o	o,1	o,4
31,o	32,4	1,4	4,5
35,9	35,7	o,2	o,6
31,8	31,7	o,1	o,3

Tab. IV Werte der Meßversuche zur Abschätzung des auftretenden Gesamtfehlers

Lfd. Nr.	Mittel der zwei Messungen (Imp/2min)
1	2 o12
2	1 916
3	2 o86
4	2 o31
5	1 986
6	1 987
7	1 945
8	2 o29
9	1 915
1o	1 958

$\bar{x}$ = 1 987

s = 55

V = 2,75 %

Tab. V Übersicht über die Ausscheidungsversuche mit J^{131}-HSA

Lfd. Nr.	BV (l) 1o min p.i.	3o min p.i.	scheinbare BV Zunahme 3o'p.i. bezogen auf den 1o'Wert (%)	BV (l) 6o min p.i.	scheinbare BV Zunahme 6o'p.i. bezogen auf den 1o'Wert (%)
1	22,4	21,1	5,8	26,4	17,8
2	31,8	35,3	11,o	37,1	16,6
3	34,9	35,4	1,4	36,1	3,4
4	41,5	42,o	1,2	45,o	8,4
5	35,8	37,4	4,4	38,7	8,1
6	28,3	31,2	1o,2	31,o	9,5
7	33,2	35,8	7,8	36,2	9,o
8	36,2	37,4	3,3	37,4	3,3
			$\bar{x}$ = 5,6		$\bar{x}$ = 9,5

Übersicht über das Versuchsmaterial und sämtliche Einzelwerte

Lfd.Nr. Mariend. II	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) 1 Ltr.	ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) 2 Ltr.	ml/kg	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
1)	br. Stute	dtsch. Traber	34o	2o,1	59,1	23,8	7o,o	18,4	3 Runden gefahren
1.Nk.			36o	23,4	65,o	28,8	8o,o	23,o	15' langsam gefahren
2.Nk.			37o	2o,1	54,3	24,4	65,9	21.3	1o' Pause,15'Bewegung
3.Nk.			38o	22,4	85,9	27,7	72,8	22,4	2o' langsamer Trab
4.Nk.			39o	28,6	73,3	32,6	83,5	13,9	3 Runden schnell gefahren
5.Nk.			36o	3o,6	85,o	35,3	98,o	15,3(+)	1h Pause (anwärm.)15'2heats
2)	"	"	38o	31,6	83,1	33,2	87,3	5,o	4 Runden gefahren
1.Nk.			41o	31,7	77,3	32,3	78,7	1,8	5' Pause,2o' schnell gef.
2.Nk.			41o	28,8	7o,2	31,1	75,8	8,6	15' gefahren
3.Nk.			4oo	26,1	65,2	27,9	69,7	6,8	5' Pause,15'mittelschn.gef.
4.Nk.			45o	36,7	81,5	-	-	-	- - -
5.Nk.			43o	35,o	81,3	4o,3	93,7	15,1(+)	1h Pause (anwärm.)2 heats
3)	br.Hengst	"	38o	33,4	87,8	39,4	1o3,6	17,9	- -
1.Nk.			38o	29,6	77,8	32,8	86,3	1o,8	- -
2.Nk.			39o	27,8	71,2	33,o	84,6	18,7	15' Pause, 15' gefahren
3.Nk.			39o	25,9	66,4	28,7	73,6	1o,8	1o' Pause, 15' mittel gef.
4.Nk.			42o	35,1	83,5	41,8	99,5	19,o	15' schnell gefahren
5.Nk.			43o	33,2	77,2	41,6	96,7	25,3	2o' schnell gefahren,1 heat

1 = Ruheblutvolumen = RBV
2 = Gesamtblutvolumen = GBV
+ = korrigierter Wert

Tabelle VI - Blatt 2) -

Lfd.Nr. Mariend. II	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) Ltr.	ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) Ltr.	ml/kg	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
4)	br. Stute	dtsch. Traber	37o	31,o	83,7	35,4	95,6	14,1	4 Runden gefahren
1.Nk.			37o	28,8	77,8	37,4	1o1,o	29,8	2o' schnell gefahren
2.Nk.			39o	26,o	66,6	32,6	83,5	25,3	2o' Pause, 15'schnell gef.
3.Nk.			38o	23,9	62,8	24,4	64,2	1o,2	1o' Pause, 2o'Tempo gef.1heat
4.Nk.			41o	35,o	85,3	45,6	111,2	3o,2	2o' Pause, 2o'Tempo,1 heat
5.Nk.			-	-	-	-	-	-	- -
5)	br.Hengst	"	34o	3o,1	88,5	35,6	1o4,7	18,2	4 Runden gefahren
1.Nk.			39o	27,8	71,2	32,7	83,8	17,o	1o' Pause, 2o'mittel.gef.
2.Nk.			39o	27,6	7o,7	-	-	-	(Druse)
3.Nk.			39o	27,2	69,7	36,4	93,3	33,o	2o' Pause, 2o'Tempo(1heat)
4.Nk.			39o	32,4	83,o	45,8	117,o	41,3	" "
5.Nk.			39o	32,o	82,o	38,9	99,2	21,5	2o' schnell gefahren
6)	"	"	39o	31,o	79,4	36,8	94,3	18,7	4 Runden gefahren
1.Nk.			41o	32,4	79,o	39,3	95,8	21,8	2o' Pause, 2o'mittel gef.
2.Nk.			42o	28,2	64,7	33,4	79,5	28,4	1o' Pause, 15'schnell gef.
3.Nk.			4oo	33,5	83,7	44,o	11o,o	31,3	2o' Tempo (1 heat)
4.Nk.			44o	37,o	84,o	47,o	1o6,o	27,o	15' Pause, 2o' schnell gef.

Tabelle VI - Blatt 3) -

Lfd.Nr. Mariend. II	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) Ltr.	Ruheblutvolumen (RBV) ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) Ltr.	Gesamtblutvolumen (GBV) ml/kg	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
7)	br. Hengst	dtsch. Traber	38o	33,4	87,9	36,2	95,2	8,3	---
1.Nk.			38o	28,8	75,7	32,7	86,o	13,5	2o'schnell gefahren
2.Nk.			38o	26,5	69,7	31,1	81,8	17,3	15'gefahren
3.Nk.			38o	33,4	87,9	39,5	1o3,o	18,2	2o' Tempo gefahren
4.Nk.			38o	31,2	82,1	38,o	1oo,o	21,7	15' sehr schnell gef.
5.Nk.			4oo	31,6	79,o	38,4	98,o	21,5	2o' sehr schnell gef.
8)	br.Rappschimmelstute	"	38o	34,1	89,7	37,o	97,3	8,5	5 Runden langsam gefahren
1.Nk.			38o	22,5	59,2	24,4	64,2	1o,6	- -
				34,7	91,3	-	-	-	- -
2 Nk.			38o	28,5	77,o	33,2	87,3	16,4	15' gefahren
9)	br. Hengst	"	39o	31,6	81,o	36,2	92,8	14,5	5 Runden gefahren
1.Nk.			41o	23,o	56,o	23,4	57,o	1o,1	- -
2.Nk.			4oo	28,4	71,o	32,8	82,o	15,4	15' Pause, 1 heat
3.Nk.			4oo	2o,5	51,o	25,1	62,7	22,4	- -
1o)	br. Hengst	"	4oo	32,3	8o,7	41,7	1o4,2	-	vom Besitzer zurückgezogen

Tabelle VI - Blatt 4) -

Lfd.Nr. Mariend. II	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) Ltr.	Ruheblutvolumen (RBV) ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) Ltr.	Gesamtblutvolumen (GBV) ml/kg	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
11)	dkbr. Stute	dtsch. Traber	36o	26,6	73,8	29,8	82,7	12,o	3 kl. Runden,langs.Trab
1.Nk.			37o	28,o	75,6	32,6	88,1	16,4	2o' schnell gefahren
2.Nk.			37o	26,5	71,6	3o,9	83,7	16,6	15' schnell gef., 1heat
3.Nk.			37o	28,5	77,o	33,4	9o,2	17,1	1o' gefahren angestrengt
			-	-	-	-	-	-	- -
5.Nk.			38o	36,o	94,7	43,7	115,o	21,3	2o' schnell 1 heat
12)	dkbr.Hengst	"	-	-	-	-	-	-	- -
1.Nk.			38o	29,1	79,2	36,5	96,o	25,4	15' Pause, 15'langs.gef.
2.Nk.			38o	26,6	7o,o	3o,7	8o,o	15,4	12' " 15'schnell gef.
3.Nk.			38o	26,9	7o,8	32,3	85,o	2o,o	15' " 1 heat
4.Nk.			44o	28,8	65,4	33,6	76,3	16,6	2o' " ,15'Tempo 1heat
13)	dkbr.Stute	"	-	-	-	-	-	-	- -
1.Nk.			39o	25,4	67,6	29,6	75,9	16,5+	3o' Pause 1 heat
2.Nk.			39o	34,8	89,2	41,8	1o7,1	2o,1	5'Pause,15'schnell gef. Trichophytie
3.Nk.			39o	29,1	72,o	34,9	89,4	19,9	25' ruhiger Trab
4.Nk.			42o	33,8	8o,4	38,o	9o,4	12,4	15' gefahren
5.Nk.			38o	32,o	84,2	39,3	91,2	19,3+	45' Pause,25'wechs. gef.

+ = korrigierter Wert

Tabelle VI - Blatt 5) -

Lfd.Nr. Mariend. II	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) Ltr.	Ruheblutvolumen (RBV) ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) Ltr.	Gesamtblutvolumen (GBV) ml/kg	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
14)	schw.br. Hengst	dtsch. Traber	37o	28,o	75,6	34,o	91,8	21,o	- -
1.Nk.			38o	42,2	111,o	27,1	71,3	35,7	1o' longiert
			-	-	-	-	-	-	- -
5.Nk.			39o	28,4	72,8	34,7	88,9	22,1	2o' schnell gefahren
15)	dkbr. Hengst	"	-	-	-	-	-	-	- -
1.Nk.			4oo	28,6	71,o	31,6	79,o	1o,4	25' Pause, 1 heat
2.Nk.			4oo	27,8	69,5	34,5	86,2	24,1	5' Pause,15' gefahren
3.Nk.			4oo	26,1	65,2	32,1	8o,2	22,9	15' Tempo gefahren,1heat
			-	-	-	-	-	-	- -
5.Nk.			4oo	3o,8	77,o	36,4	91,o	18,8	2o' Pause, 2o'schnell gef.
16)	dkbr. Hengst	"	38o	27,4	72,1	29,2	76,8	6,6	15' longiert, aufgeregt
1.Nk.			38o	24,2	63,6	3o,4	8o,o	25,6	25' langsamer Trab

Tabelle VI - Blatt 6) -

Lfd.Nr. Mariend. II	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) Ltr.	Ruheblutvolumen (RBV) ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) Ltr.	Gesamtblutvolumen (GBV) ml/kg	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
17)	dkbr.Stute	dtsch. Traber	36o	25,4	78,8	31,7	88,o	24,9	15' gefahren
1.Nk.			38o	17,7	46,5	21,7	57,1	22,5	2o' langs. gefahren
3.Nk.			4oo	25,9	64,7	34,2	85,5	32,o	5' Pause,2o'schnell gef.
4.Nk.			44o	36,5	82,9	42,o	95,4	15,o	5 Runden langs. gef.
18)	br.Hengst	"	-	-	-	-	-	-	- -
1.Nk.			39o	3o,7	78,7	31,3	79,7	1,9	2o' langsam gefahren
2.Nk.			4oo	26,5	66,2	29,2	73,o	1o,1	5' Pause,2o' schnell gef.
3.Nk.			4oo	27,5	68,7	33,2	83,o	2o,7	" "
19)	br.Stute	"	4oo	36,7	91,7	37,o	92,5	1,8	2o' schnell gefahren

Tabelle VI - Blatt 7) -

Lfd.Nr. Mariend. III	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) Ltr.	ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) Ltr.	ml/kg	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
1)	Rapphengst	dtsch. Traber	35o	22,2	63,4	26,2	74,8	18,o	15'longiert,tiefer Boden
1.Nk.			35o	23,7	67,7	26,4	75,4	11,3	4 Runden gefahren
2.Nk.			35o	28,8	82,2	32,4	92,5	12,5	5 Runden langs. gefahren
3.Nk.			37o	31,4	84,8	35,6	96,2	13,1	2o'schnell gefahren
2)	br.Stute	"	36o	24,5	68,o	27,4	76,1	11,8	1o'longiert tiefer Boden
3)	br.Hengst	"	35o	26,5	75,o	29,o	82,2	9,5	1o' longiert,tiefer Boden
1.Nk.			35o	24,5	7o,o	27,5	78,5	12,2	1o' " "
2.Nk.			38o	29,1	76,5	34,2	9o,o	17,5	4 Runden gefahren
3.Nk.			39o	3o,2	77,4	42,4	1o8,7	4o,3	1o' schnell, 1 heat
4)	dkbr.	"	34o	23,9	7o,2	29,4	86,4	23,o	- -
5)	dkbr. Stute	"	38o	25,6	67,3	29,2	76,7	14,o	15' longiert, tiefer Boden
1.Nk.			38o	27,3	74,4	31,8	83,6	16,4	15' " "
2.Nk.			38o	3o,6	8o,5	33,2	87,3	18,4	15' longiert
3.Nk.			42o	32,8	78,o	39,1	93,o	19,2	15' Mitteltrab
4.Nk.			42o	34,5	82,1	42,o	1oo,o	21,7	15' "

Tabelle VI - Blatt 8) -

Lfd.Nr. Mariend. III	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) Ltr.	Ruheblutvolumen (RBV) ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) Ltr.	Gesamtblutvolumen (GBV) ml/kg	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
6)	Rapphengst	dtsch. Traber	35o	2o,5	58,5	23,7	67,7	15,6	15' longiert
1.Nk.			36o	25,9	71,9	29,1	8o,8	12,3	15' longiert, tiefer Boden
2.Nk.			38o	27,6	72,6	32,6	85,7	18,1	2o' longiert.
3.Nk.			4oo	3o,4	76,o	35,4	88,5	16,4	2o' schnell gefahren
4.Nk.			4oo	32,6	81,5	36,6	91,5	12,2	15' langsamer Trab
7)	br. Stute	"	34o	24,6	72,3	28,5	83,8	15,8	1o' longiert
1.Nk.			35o	22,5	64,2	27,3	78,o	21,3	15' longiert,tiefer Boden
2.Nk.			4oo	35,5	88,7	42,5	1o6,2	19,7	2o' " " "
3.Nk.			4oo	28,3	7o,7	36,4	91,o	28,6	2o' Pause,2o'gefahren
8)	dkbr.Hengst	"	36o	22,4	62,2	27,1	75,o	2o,o	2o' longiert,2o' Pause
1.Nk.			38o	27,4	72,1	32,3	85,o	14,8	2 Runden langs. Trab
9)	Fuchshengst	"	34o	25,7	75,5	29,5	86,7	14,7	15' gefahren
1.Nk.			35o	25,1	71,7	28,4	81,1	13,1	3 Runden gef.,tiefer Bod.
2.Nk.			37o	31,7	85,6	56,o	151,3	76,6	2o'Pause,3 Runden langs. gefahren,1 heat
3.Nk.			38o	29,6	77,8	45,2	118,9	52,7	2o' gefahren, 1heat

Tabelle VI - Blatt 9) -

Lfd.Nr. Mariend. III	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) Ltr.	ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) Ltr.	ml/kg.	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
10)	br.Hengst	dtsch. Traber	34o	2o,2	59,4	21,4	6o,o	5,9	15' gefahren
1.Nk.			36o	25,o	69,4	28,7	79,6	14,8	3 Runden gefahren
2.Nk.			39o	29,o	74,3	31,3	8o,2	7,9	2 Runden langs. gef.
3.Nk.			4oo	29,o	72,5	34,4	86,o	18,o	2o' gefahren, matt
11)	br. Hengst	"	34o	18,9	55,6	21,8	64,1	15,3	2o' longiert
1.Nk.			36o	23,4	65,o	26,7	74,1	14,1	3 Runden gefahren
2.Nk.			36o	29,1	8o,8	35,5	98,6	21,9	3 Runden lg.gef.1heat
3.Nk.			37o	29,o	78,4	35,6	96,2	22,o	1o' - 1 heat,15'Pause 2 heat,2o'
12)	Fuchshengst	"	36o	25,o	69,4	-	-	-	- -
1.Nk.			37o	23,1	62,4	26,4	71,3	14,2	2o' longiert,tiefer Bod.
2.Nk.			37o	28,o	75,6	31,7	85,6	13,2	15' langs. longiert
3.Nk.			39o	27,8	71,2	35,4	9o,7	27,3	2o'Pause,2o'Tempo
13)	br.Hengst	"	36o	18,8	52,2	22,4	62,2	19,1	15' longiert,tiefer Bod.
1.Nk.			37o	23,5	62,4	27,o	72,9	14,8	1o' longiert,unruhig
2.Nk.			38o	25,5	67,1	3o,9	81,3	21,1	15' longiert

Tabelle VI - Blatt 1o) -

Lfd.Nr. Mariend. III	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) Ltr.	Ruheblutvolumen (RBV) ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) Ltr.	Gesamtblutvolumen (GBV) ml/kg.	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
14)	br.Stute	dtsch. Traber	35o	17,5	5o,o	18,9	54,o	8,o	1o'langs.long.,tief.Bod.
1.Nk.			35o	19,7	56,2	23,7	67,6	2o,3	15' gefahren
2.Nk.			36o	24,5	68,o	29,o	76,6	18,3	15' schnell gefahren
3.Nk.			37o	22,8	61,6	29,2	78,9	28,o	15' " "
15)	Rapphengst	"	36o	25,5	7o,8	28,8	8o,o	12,9	15' longiert,tief.Bod.
1.Nk.			37o	24,4	65,9	28,7	77,6	17,6	5 Runden langs. gefahren
2.Nk.			38o	29,9	78,6	37,o	92,6	23,7	3 " " "(1heat)
16)	dkbr.Stute	"	36o	26,3	73,o	3o,5	84,7	15,9	1o' longiert --
1.Nk.			36o	28,6	79,4	31,5	87,4	1o,3	1 heat
2.Nk.			-	29,3	-	34,9	-	1	25' Pause,2.heat
						38,o		29,6	2o' langs.gef. (matt)
3.Nk.			37o	31,8	88,6	38,5	1o4,o	21,o	1o' longiert
17)	br. Stute	"	37o	27,1	73,2	3o,1	81,3	11,o	1o ' longiert
1.Nk.			38o	27,1	71,3	3o,3	79,6	11,8	- -
18)	br.Hengst	"	36o	25,9	71,9	28,3	78,6	9,2	1o' longiert
1.Nk.			-	-	-	-	-	-	- -
2.Nk.			38o	3o,o	78,9	34,2	9o,o	14,o	15'Pause, 1.heat
						41,o	1o7,8	36,6	1o' " , 2.heat
3.Nk.			4oo	28,9	72,2	35,1	87,7	21,4	2o'sehr schnell, 1 heat

Tabelle VI - Blatt 11) -

Lfd.Nr. Mariend. III	Signalement	Typ	Gew. (kg)	Ruheblutvolumen (RBV) Ltr.	ml/kg	Gesamtblutvolumen (GBV) Ltr.	ml/kg.	BV-Zunahme in % bezogen auf RBV	Belastung
19)	br.Stute	dtsch. Traber	39o	29,o	79,4	32,5	83,3	12,o	1o' longiert, tief.Bod.
			-	-	-	-	-	-	eingegangen
2o)	br. Stute	"	36o	2o,8	57,7	27,o	75,o	29,8	15' longiert,tief.Boden
1.Nk.			36o	23,1	64,1	26,o	72,2	12,5	- -
21)	dkbr. Hengst	"	36o	3o,o	83,3	48,o	133,3	6o,o	2o' scharf.long.,tief.Bod.
1.Nk.			36o	29,o	8o,5	34,o	94,7	17,2	- -
2.Nk.			38o	33,o	87,1	27,3	97,6	11,5+	3o'Pause, 1. heat
						39,4	1o3,4	19,3	2o' " , 2.heat
3.Nk.			39o	32,3	82,8	38,7	99,2	2o,1	2o' " , 1.heat

+ = korrigierter Wert

D. Literaturverzeichnis

1. ARNOLD, H.R., Carrier E.B., Smith, H.P., Whipple, G.H. (1921); Blood volume studies. V The carbon monoxyd meth. Its accuracy and limitations
Amer. J. Physiol. 56, 313

2. BARCROFT, J. (1926); Weitere Forschungen über die Milzfunktion
Naturwissenschaften 14, 797

3. BECKER, J., Kuhn, H.M., Wenz, W., Willich, E., (1972); Kursus: Radiologie und Strahlenschutz S. 8., 9.241
Springer Verlag

4. BIANCA, W., (1951); Untersuchungen über die Methodik der Blutmengenbestimmung am lebenden Tier unter besonderer Berücksichtigung der Blutspeicher
Z. Tierzüchtung 59, 1

5. CLARK, Ch., Woodley, Ch., (1959); A comparsion of blood volumes as measured by Rose Bengal, T-1824 (Evans blue), radiochromium tagged erthrocytes an a combination of the latter two
Amer. vet. Research 2o, 1o67

6. COLLERY, L., Keating, J., (1958); Blood volume Determination in Horses Using Radioactive Phosphorus
The Veterinary Record 7o, 216

7. DALTON, R.G., Fisher, E.W., (1963); Plasma and Blood Volume in Horses
Brit. vet. J. 119, 384

8. EMRICH, D., (1971); Nuklearmedizin, Funktionsdiagnostik
Georg Thieme Verlag, Stuttgart

9. FIELDS, Th., Seed, L., (1961); Clinical use of Radioisotopes.
The Year Book Publishers Inc.-Chicago.

1o. FINE, J., Seligman, A.M., (1943); Traumatic Shock IV.- A Study of the "Lost Plasma" in Hämorrhagic Shock by the Use of Radioactive Plasma Protein
J. Clin. Invest. 22, 285

11. FISCHER, J., Wolf, R., (1967); Nuklearmedizinische Diagnostik in der Hämatologie
Deutsche Therapiewoche in Karlsruhe S. 9,14
Farbwerke Hoechst

12. FRANK, H., Gray, J., (1953); The Determination of Plasma Volume in Mans with Radioactive Chrmic Chloride
J. Clin. Invest. 32, 991

13. GANONG, W.F., (1972); Medizinische Physiologie S. 545
2. Auflage, Springer Verlag

14. GAUER et. al., (197o); zitiert nach Steinhardt, M., Steinhardt, K., Wachtel, W., Lyhs, L., (1971); Untersuchungen über das Plasmavolumen, Blutvolumen und die totale Hämoglobinmenge bei Schweinen
Arch. exp. Vet. med. 26,3

15. GIBSON, J.G., Evans, A.W.A., (1937); Clinical Application of a method employing the azo eye "Evans blue" and the Spectrophometer
J. Clin. Invest. 16, 3o1

16. GREGERSEN, M.J., Rawson, R.A., (1959); Blood Volume
Physiol. Rev. 39, 3o7

17. GRAY, S.J., Sterling, K., (195o); The Tagging of Red Cells and Plasma Protein with Radioactive Chromium
J. Clin. Invest. 29, 1 6o4

18. HAHN, L., Hevesy, G., (194o/41); A Method of Blood Volume Determination
Acta physiol. Scand. 1,3

19. HEIM, W., Schumacher, W., Frost, D., (1961); Radioaktive Isotope in der Chirurgie S. 195
Walther de Gruyter & Co. Berlin

2o. HERRATH v., E., (1938); Zur vergleichenden Anatomie der Säugermilz und ihrer Speicher- und Abwehraufgaben
Med. Klin. 34, 1355 - 1359

21. HOBBS, J.T., (1967); Total blood Volume - its measurement and significance S. 6,7
Medical Monograph 3, The Radiochemical Centre Amersham, England

22. KEITH, N.M., Rowntree, L.G., Geraghty , J.T., (1915); A method for the determination of plasma- and blood volume
Arch. inn. Med. 16, 542

23. KRZYWANEK, F., (1927); Neue Ansichten über die Funktion der Milz im Blutkreislauf
Berl. Tierärztl. Wschr. 42, 393

24. KRZYWANEK, F., Berge, E., (1933); Das Verhalten der Erythrozyten bei Ruhe und Bewegung bei einem milzlosen Pferd
Pflügers Arch. Physiol. 232, 478

25. KRIEGER, H., Storaashli,J.P., Friedell, H.L., Holden, W.D., (1948); A comparative study of blood volume in dogs
Procec. Soc. Exp. Biol. Med. 68, 511

26. KUNI, H., Graul, E.H., Hundeshagen, H., Schaumlöffel, E., (1963); Eine Methode zur Schnellmarkierung der Erythrozyten mit Cr^{51}
Atompraxis 9,9

27. OPPERMANN, Th., Meyer, W., Löwe, C., (1937); Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Blutausrüstung, Exterieur und Leistung bei Truppenpferden
Z. Veterinär. Berlin 49, 157

28. OPPERMANN, Th., (1947); Über die Blutreserven der Haustiere insbesondere der Pferde
Scharper Verlag, Hannover

29. PERSSON, S.G.B., (1967); Blood Volume, State of Training and Working Capacity of Race Horses
Equine Veterinary Journal 2,57,52

3o. PERSSON, S.G.B., (1967); On Blood Volume and Working Capacity in Horses
Acta Veterinaria Scand. 19, Suppl.

31. POMMER, W., (1941); Über die Korrelation zwischen Erythrozyten Gehalt, Hämoglobin-Gehalt und Pulszahl bei Kleinpferden unter besonderer Berücksichtigung der Blutreserven
Vet. Diss. Wien

32. Recommendations of the international Commission on Radiological Protection (ICRP)
Nr. 9 Minerva Verlag GmbH Frankfurt 1969

33. ROOT, W.S., Allen, Th.H., Gregersen, M.J., (1953); Simultaneous determinations in splenectomized dogs of cells volume with CO and P^{32} and plasma volume with T-1824
Amer. J. Physiol. 175, S. 233

34. SCHEUNERT, A., Krzywanek, F.W., (1927); Über die Beziehung der Milz zu den Schwankungen der Menge der roten Blutkörperchen
Pflügers Arch. Physiol. 215, 187

35. SEYDERHELM, R., Lampe, W., (1953); Die Blutmengenbestimmungsmethoden mittels "kolloidaler" Farbstoffe
Im "Abderhalden": Handbuch der biol. Arbeitsmehtoden, Abt. V, 8, 245

36. SJÖSTRAND, T., (1956); Blutverteilung und Regulation des Blutvolumens
Klin. Wschr. 34, 561

37. STEINHARDT, M., Steinhardt, K., Wachtel, W., Lyhs, L., (1971); Untersuchungen über das Plasmavolumen, Blutvolumen und die totale Hämoglobinmenge bei Schweinen
Arch. exp. Vet. med. 26, 3

38. STEGER, G., (194o); Zur Biologie der Milz der Haussäugetiere
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 48,3o7

39. TRAUTVETTER, E., (1966); Plasma- und Blutvolumenbestimmungen an Hunden mit T-1824 (Evans blue) und Hämatokrit
Vet. Diss. Journal Nr. 544, FU Berlin

4o. VENRATH, H., Bolt, W., Hollman, W., Valentin , H., Kesteloot, H., (1957); Untersuchungen zur Frage der Blutdepots beim Menschen
Z. Kreiselforsch. 46, 612

41. VETTER, H., Veal, N., (196o); Radioisotopen-Technik
Verlag Urban-Schwarzenberg, München - Berlin

42. WEGNER,K.H., (1966); Radioaktivität und Veterinärmedizin S. 126, 91, 92
Paul Parey Verlag

43. WESTPHAL, W.H., (1967); Kleines Lehrbuch der Physik
S. 241, 253
6. - 8. Auflage Springer Verlag

44. WOLLHEIM, E., Becker, G., Schneider, K.W., (1957); Die Bestimmung der Aktiven Blutmenge mittels Evans blue, radioaktivem P^{32} und Cr^{51}
Klin. Wschr. 17, 8oo

45. WOLLHEIM, E., (1928); Die Bestimmung der zirkulierenden Blutmenge
Z. klin. Med. 1o8, 463

46. ZELLER, S., Siewert, R., (1964); Blutvolumenuntersuchungen beim Pferd mit J^{131}-HSA (RIHSA)
Zentralblatt f. vet. Med. 11, 523

Hiermit möchte ich mich nach Beendigung dieser Arbeit bei Herrn Prof. Dr. K. Hartung für die Überlassung des Themas und seinen gegebenen Anregungen herzlich bedanken.
Ebenfalls bedanke ich mich bei Herrn Dr. Kretschmer aus der Fachrichtung der Biometrie, den Mitarbeitern der Klinik für Pferdekrankheiten und allgemeinen Chirurgie und bei den Trainern der Trabrennbahn in Mariendorf, die uns freundlicherweise ihre Pferde zur Verfügung stellten.

Lebenslauf
==========

Am 12. April 1948 wurde ich als zweites Kind des Kaufmanns Hubertus Schmidt und seiner Ehefrau Ursula geb. Segnitz in Brakel, Krs. Höxter geboren.

Nach der Einschulung 1954 in die Volksschule in Kaiserslautern wechselte ich 1959 auf ein Progymnasium für Mädchen, in Frankenthal/Pfalz über. Durch mehrere Wohnungswechsel bedingt, besuchte ich die Gymnasien in Tegernsee/Obb., Beerfelden/Odw. und in Wald-Michelbach. Dort legte ich am 2o. Juni 1968 die Reifeprüfung ab. Danach bewarb ich mich für das Studium der Veterinärmedizin und wurde im Oktober 1968 an der Freien Universität in Berlin zugelassen. Im Sommer 197o bestand ich dort die tierärztliche Vorprüfung und beendete das Studium am 26. Juni 1974 mit dem Staatsexamen. Am 2. August 1974 wurde ich als Tierärztin bestallt.